

海水と浄化用水が複雑に交錯する内川の水環境 に関する基礎的研究

A FUNDAMENTAL STUDY ON WATER ENVIRONMENT IN UCHIKAWA RIVER:
COMPLICATED SYSTEM OF SEAWATER AND PURIFICATION WATER

手計太一¹・奥川光治²・坂本正樹³・安田郁子⁴

Taichi TEBAKARI, Koji OKUGAWA, Masaki SAKAMOTO and Ikuko YASUDA

¹正会員 博(工) 富山県立大学講師 工学部環境工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

²正会員 博(工) 富山県立大学准教授 工学部環境工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

³非会員 博(理) 富山県立大学講師 工学部環境工学科 (〒939-0398 富山県射水市黒河5180)

⁴非会員 工博 安田水生生物研究所 (〒939-0364 富山県射水市南太閤山14-102)

To clarify the present situation of water environment in the Uchikawa River in Toyama, field observations (water quality, flow velocity distribution and plankton sampling) have been carried out continually since 2009. Water quality in the Uchikawa River had been aggravated due to the development of well-drained paddy fields and new ports in and around the river basin from 1960s. Regardless of a water reclamation program, water quality in the Uchikawa River does not show a drastic improvement.

Due to the effect of purification water from the Nishi-Uchikawa River, upward flows of seawater and vertical water quality changes in the Higashi-Uchikawa River were found from the investigation results of water quality. It was also found that the spatial distribution of plankton was influenced by the water flows. The existence of both freshwater and marine (brackish) algae in the river indicates that the resources subsidizing food web are provided through the multi-directional water flow.

Key Words : *phytoplankton species richness, water quality, ADCP, tidal river, water environment Uchikawa River, Toyama*

1. はじめに

感潮河川は一般に河道の河床勾配が緩やかになるため潮汐の影響を受け、複雑な流れや水環境を形成している¹⁾。例えば、感潮河川における特徴的な水理構造の一つに塩水楔が挙げられる。河口付近では海水と淡水の異なる流体が混ざり合い密度流を形成する。感潮河川における水理学的問題は塩水遡上や治水安全度などが挙げられる^{2),3)}。

また、河川感潮部の水質変動に関する代表的な研究例として、有明海に流入する強混合河川感潮部における現地調査結果が挙げられる。ここでは、SSと懸濁態物質の関連、塩分と溶存態物質の関連など水質変動現象と物質輸送機構の解明を行っている^{4),5)}。

潮汐の影響を強く受ける感潮河川においては、海水とともに、海水性プランクトン、甲殻類、魚類が侵入することで、複雑な食物網が形成される^{6),7)}。特に、プラン

クトンは水の流れに逆らって泳ぐことが困難なため、河川中の分布域は流況や水質と一致すると考えられる。しかし、流水中のプランクトンに着目した研究は少なく、河川生態系内でどの程度の重要性を持っているか、ほとんどわかっていない。

本研究で対象とする内川は庄川右岸の河口部に位置している。かつては、放生津潟を源流に奈呉ノ浦や庄川まで流れ、豊富な水量や良好な水質を保ち、非常に良い漁場であった⁸⁾。しかし、1967年からの乾田事業や1968年の富山新港建設にともない内川本川や支川の流れがほとんどなくなった。また急激な経済成長にともない、生活排水や水産加工工場排水によって河川水質は極端に悪化した。さらに、農業排水系統の変更によって流量が減少した。1973年には水域類型Cに指定されるなど、水環境は極めて悪化していた。このような状況を改善するために、1980年に内川浄化対策事業が実施されてきた^{9),10),11)}。さらに1997年に追加の浄化対策事業が実施され、ある程度水質改善は認められたものの、かつてのような良質



図-1 内川の概要図

な魚場は戻っておらず、抜本的な水環境の改善には至っていないのが実情である。

このような状況を鑑み、著者らは海水と浄化用水が複雑に交錯する内川を対象に水環境改善策を提案することを目的に、2009年度から一年以上にわたって継続的に内川の水環境の現地観測を実施してきた。本稿では、内川の河川流況、水質、生物に着目し、現地観測結果を基に水環境の現況を明らかにする。

2. 内川流域

内川は富山県射水市新湊地区の中心部を東西に流れる2級河川である(図-1)。流路延長は2.23km、揚水機場から奈呉ノ浦までの西内川は0.76km、富山新港から奈呉ノ浦までの東内川は1.47kmである。それぞれの平均河床勾配は、西内川1/544、東内川1/1214である。

1968年の富山新港の建設に伴い、源流であった放生津潟は直接日本海と繋がることになった。上流・下流ともに富山湾に接続しているため、内川には流れがほとんどなくなり、水環境は悪化していった。

本稿では、富山県の河川台帳に則り、東内川においては富山新港側を上流端、奈呉ノ浦を下流端と定義する。

図-2は内川の水系図である。浄化対策事業によって、内川本川と7つの準用河川に庄川の水が導水されている。西内川には庄川からの揚水(計画最大 $2.9\text{m}^3/\text{s}$)によって日中(9時～17時)だけは流れが戻ってきているが、揚水ポンプの止まっている夜間の流れはほとんどない。また、東内川は西内川より河道容量が大きいにもかかわらず計画最大 $1.1\text{m}^3/\text{s}$ の揚水量しか流れていない。

3. 現地観測方法

内川の水環境を把握するために、河川流況、水質、生物に着目し、一年以上にわたって継続的に現地観測を実施してきた。以下に、各項目の現地観測方法を詳述する。

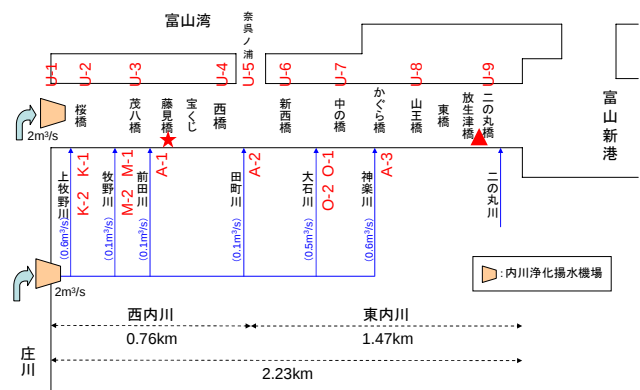


図-2 内川の水系図

表-1 ADCPの計測設定

Workhorse ADCP 1200kHz			
計測モード(*1)	WM11	ウォーターピング数(*2)	3
計測層厚	0.05m	ボトムトラック機能	ON
計測層数	50	ボトムピング数(*3)	3
アンサンブルタイム	1.54s	固定観測における流速誤差の標準偏差	0.77cm/s

(*1)高感度のパルスを発信するため、浅い水深場や変化の少ない微流速域での観測に適した機能

(*2)流れの1アンサンブル(平均データ)を得る為のパルスの発信回数

(*3)対地速度の1アンサンブル(平均データ)を得る為のパルスの発信回数

(1) 河川流況

本研究では、河川の流速を3次元で計測できる超音波ドップラー多層流向流速計(ADCP; Teledyne RD Instruments社製)を利用した。本研究で用いたADCPの計測設定は表-1の通りである。なお、計測コーディネーション(器機座標)は地球座標(内部磁気コンパスの方位を反映させた流速を計測する方法)を利用した。

ADCPを専用ボートに設置し、河川中央部の流速を観測した。揚水機場～奈呉ノ浦～富山新港までの区間の河川流況を縦断的に観測する方法(曳航観測)と定点に固定して観測する方法を実施した。曳航観測においては、専用ボートを兩岸からロープで曳く方法とゴムボートで曳航する方法の二通りの方法を採用した。

縦断(曳航)観測を実施したのは、2009年9月15日、16日、10月27日、29日、30日、11月17日、12月4、5日、2010年8月11日の9日間11回。また、定点観測は、2009年12月28日、2010年1月21日、28日、2月23日、3月16日、4月27日、6月21日、6月28日、7月26日、8月11日の合計10回実施した。

(2) 水質

水質に関しては、2009年8月25日、9月16日、10月30日の3回および2010年6月10日に調査を実施した。いずれも調査時間は9時30分から12時ないし13時45分までで、揚水機の稼働している時間帯である。2009年の3回は、内川本川の9地点(U-1～U-9)と流入6支川(K-1, M-1, A-1, A-2, O-1, A-3; いずれも流入直前の地点)の表層水を対象とし、橋上からバケツを用いて中央部の水を採取した。2010年

表-2 調査期間中に内川とその流入河川で出現した植物プランクトン種

分類群	生息域による分類	
	淡水性	海水性 or 汽水性
藍藻類	<i>Dactylococcopsis</i> sp. ^{(1), (2), (3)}	
	<i>Lyngbya quetzlingii</i> ⁽¹⁾	
	<i>Merismopedia</i> sp. ^{(1), (2)}	
	<i>Oscillatoria</i> sp. ⁽³⁾	
	<i>Phormidium</i> sp. ^{(1), (3)}	
珪藻類	<i>Asterionella formosa</i> ^{(1), (2), (3)}	<i>Asterionella japonica</i> ⁽²⁾
	<i>Cocconeis</i> sp. ^{(1), (3)}	<i>Bacillaria paradoxa</i> ^{(1), (2), (3)}
	<i>Cyclotella</i> sp. ^{(1), (2), (3)}	<i>Chaetoceros socialis</i> ⁽²⁾
	<i>Cymbella</i> sp. ^{(1), (3)}	<i>Chaetoceros</i> spp. ⁽²⁾
	<i>Fragilaria crotonensis</i> ^{(1), (3)}	<i>Hemiaulus</i> sp. ⁽²⁾
	<i>Gomphonema</i> sp. ^{(1), (3)}	<i>Nitzschia seriata</i> ^{(2), (3)}
	<i>Aulacoseira granulata</i> ⁽¹⁾	<i>Skeletonema</i> spp. ^{(1), (2), (3)}
	<i>Aulacoseira italica</i> ^{(1), (2), (3)}	<i>Thalassiosira</i> sp. ⁽²⁾
	<i>Melosira varians</i> ^{(1), (3)}	<i>Thalassiothrix</i> sp. ⁽²⁾
	<i>Navicula</i> spp. ^{(1), (2), (3)}	<i>Triceratium alternans</i> ⁽¹⁾
	<i>Nitzschia palea</i> ⁽³⁾	
	<i>Nitzschia</i> sp. ^{(1), (2), (3)}	
	<i>Rhizosolenia longiseta</i> ^{(1), (2), (3)}	
	<i>Rhizosolenia</i> sp. ^{(1), (3)}	
	<i>Surirella</i> sp. ⁽³⁾	
	<i>Synedra</i> sp. ^{(1), (2), (3)}	
	<i>Peridinium</i> sp. ^{(1), (2), (3)}	
	<i>Ceratium hirundinella</i> ⁽¹⁾	
	not identified at genus level ^{(1), (2)}	
	<i>Mougeotia</i> sp. ⁽²⁾	
鞭毛藻類		
緑藻類	<i>Scenedesmus</i> sp. ^{(2), (3)}	
	<i>Schroederia setigera</i> ⁽¹⁾	

※数字はそれぞれ、(1) 西内川、(2) 東内川、(3) 流入河川で観察された種または属を示す。

6月は、内川本川4地点(U-1, U-4, U-8, U-9)の表層ならびに水深1mと2mの水を対象とし、ISCO製電動ポンプ(AccuWell150 Portable Pump)を用いて、中央部または岸から4mのところの水を採取した。

調査項目は以下のとおりである。現地において、pH(比色法および電極法)、電気伝導率(EC)、水温、溶存酸素(DO)などを測定するとともに、全有機態炭素(TOC)、全窒素(TN)、全リン(TP)、溶性ケイ酸(SiO₂)などを分析した。TOCは島津製作所製TOC-5000Aまたはアナリティクイエナ製multi N/C 3100に、また、TNは上水試験方法(紫外線吸光光度法)またはビーエルテック製全窒素全リンオートアナライザー(SWAAT)に、TPは上水試験方法(ペルオキシ二硫酸カリウム法)またはSWAATに、さらに、SiO₂は上水試験方法(モリブデン黄による吸光光度法)によった。なお、2009年度後半に機器の更新・新規購入をしたため、機器・手法を途中で変更した。

(3) 生物

内川(U-1, U-3, U-4, U-6, U-7, U-8, U-9)と流入支川(K-2, M-2, O-2; いずれも流入地点から100m上流の地点)において、2009年8月、9月、10月に、採水による植物プランクトンのサンプリングを行った。河川水は50～70 mL容の管ビンに入れ、グルタルアルデヒド(最終濃度は約1%)により固定した。それを24時間以上静置し、沈殿物をチャンバー(約2.7mL)に入れ、倒立顕微鏡(150～300倍)で同定を行い、淡水性の種と海水性(汽水性)の種に分類した(表-2)。

内川の各地点(U-1, U-3, U-4, U-6, U-7, U-8, U-9)での採集から得られた淡水性及び海水性(汽水性)植物プランク

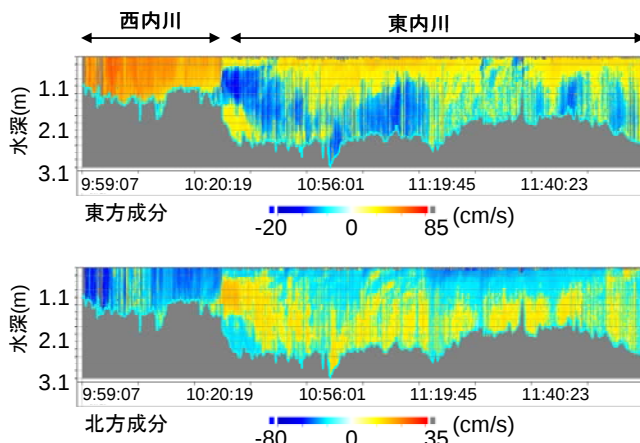


図-3 2009年10月29日午前10時から12時にかけて実施した曳航観測の結果

トンの種数と同時期に調べた水質データ(水温、pH、塩分、DO濃度、TOC濃度、TN濃度、TP濃度)との関連性については、一般化線形混合モデル(GLMM)を用いて解析を行った¹²⁾。モデル式は以下の通りである。

$$g[E(y_i)] = \eta_i = \beta_0 + \beta_1 x_{Temp} + \beta_2 x_{pH} + \beta_3 x_{salinity} + \beta_4 x_{DO} + \beta_5 x_{TOC} + \beta_6 x_{TN} + \beta_7 x_{TP} + r_i \quad (1)$$

ここで、 g は連結関数、 E は期待値、 y は応答変数(植物プランクトンの種数; ポアソン分布)、 η は線形予測子、 β は係数、 x は説明変数、 r はランダム効果(調査した月の違いによる影響)、 i はデータの番号(淡水性もしくは海水性・汽水性)を示す。AIC値を当てはまりの良さの指標としてモデル選択を行い、各係数(β)の推定を行った。

4. 観測結果

(1) 河川流況

a) 曳航観測の結果

前述のように縦断(曳航)観測はこれまでに11回実施したが、いずれも同様の結果であったため本稿では一例として2009年10月29日午前10時から12時にかけて実施した曳航観測の結果を図-3に示す。上図は東向きの流速成分を正として表示した図、下図は北向きの流速成分を正として表示した図である。内川は全体的に東西方向に流れているため、東方成分に着目すると全体の流況が把握できる。午前9時からの浄化揚水が始まっているため、西内川は全域でほぼ断面一様に流速約80cm/sで揚水機場から奈呉ノ浦へ流れている。一方、東内川は順流と逆流が複雑に混在している。このような傾向は11回実施した観測のいずれにおいても同様の結果であった。

b) 西内川の流況

西内川における流況観測の場所は、奈呉ノ浦から220mに位置する藤見橋(図-2中の★印)である。2009年12月28日(小潮)に実施した定点観測の結果を図-4に示す。上図は揚水機場が稼働する午前9時前後の流速の鉛直分

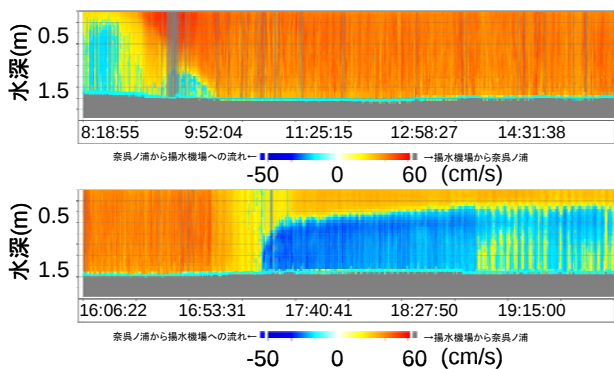


図-4 西内川における流速の鉛直分布の時系列(上図: 8時18分～11時30分, 下図: 16時6分～20時2分)

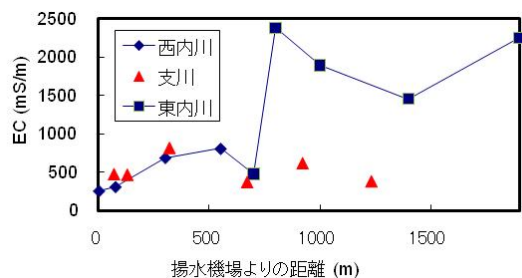


図-6 電気伝導率の変化(2009年8月25日)

布, 下図は揚水機場の稼働が停止する午後5時前後の流速の鉛直分布である。揚水機場が稼働するまでは, 下流から上流に向かっての流れに支配されている。最大で15cm/sの流速が観測された。揚水機場の稼働が9時に始まり, 約1時間後には鉛直方向にはほぼ一定で上流から下流への流れとなる。下図からもわかるように, 揚水機場の稼働が停止する17時過ぎまでこの流れは断面一様であった。揚水機場の稼働が停止すると, 下流の奈呉ノ浦からの逆流が観測された。図-4からもわかるように, 弱混合型で浸入している。また19時くらいから上層と下層の境界面に規則的な波が認められる。このような塩水の浸入形態は, 富山湾の潮位にかかわらず揚水機場の稼働停止時間と上げ潮時間が重なる時間帯において毎回観測されている。

c) 東内川の流況

東内川における流況観測の場所は, 図-2中の▲に位置する二ノ丸橋と東橋のちょうど中間地点である。

図-5は2010年3月16日の満潮時と干潮時の東内川における流速の鉛直分布の時系列である(満潮14時, 干潮21時)。上図の満潮時では, 上層が逆流, 下層が順流の支配が顕著であるが, 全体的には順流と逆流が混在している。これは, 前述したように, 上流にあたる富山新港, 下流にあたる奈呉ノ浦のいずれも富山湾に接続されており, 河川全体が潮位変動の影響を受けていることに起因する。著者らの水位観測によっても, 上流と下流の水位がほぼ同程度であることがわかっている。

図-5の下図は干潮時の流速分布の時系列である。下げ潮から干潮にかけて, 鉛直方向に順流と逆流の混在が少

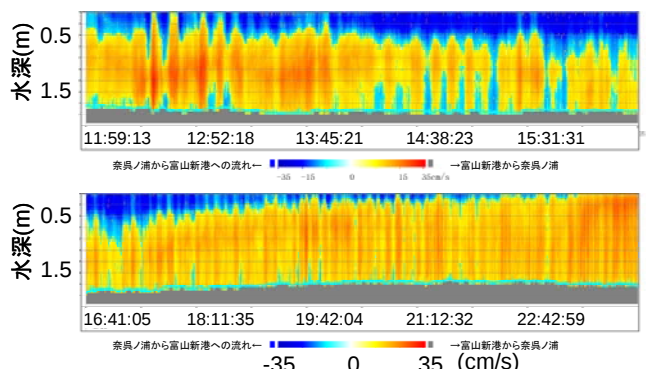


図-5 東内川における流速の鉛直分布の時系列(上図: 満潮時, 下図: 干潮時)

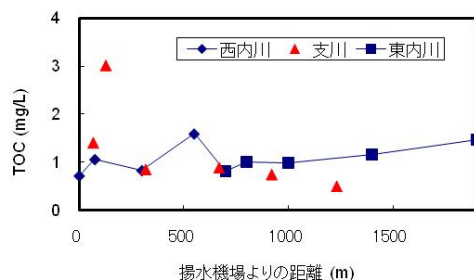


図-7 TOCの変化(2009年8月25日)

なくなり, 表層付近は逆流であるものの全体に順流に支配されつつあることがわかる。さらに干潮から上げ潮にかけては, 流速分布は鉛直方向一様に順流に支配されている。その後, 上げ潮から満潮に至る時間帯では, 下層が逆流, 上層が順流という流況が観測された。東内川は上流と下流が潮位の影響を受け, また図-3からわかるように河川中間付近に窪みがあるという特異な河床形状をしており, 鉛直方向の流速分布は極めて複雑であることがわかった。

(2) 水質

表層水を対象とした2009年の3回の調査結果は以下のようであった。ECは西内川で175～1100 mS/m, 東内川で1110～3130mS/m, 支川で226～1260mS/mといずれも高く, 東内川では海水(約5000mS/m)に近い場合もあった。この結果は支川では各種排水が原因でもあるが, 海水が遡上することが主因である。一例として, 8月の調査結果を図-6に示す。海水の影響は水温やpHでも認められ, 海水の浸入に伴い, 水温もpHも高くなる傾向があった。TOC(図-7)は本川で0.72～2.35mg/L, 支川で0.50～3.01mg/Lであった。牧野川で高くなることがあり, 下水臭がする場合もあったが, 二度の浄化対策事業により有機汚濁はほぼ解消されている。TNは本川で0.19～1.99mg/L, 支川で0.19～1.61mg/Lであり, TPは本川で0.023～0.100mg/L, 支川で0.024～0.544mg/Lであった。TN, TPとも大幅に富栄養化限界を超過していることがほとんどであった。2009年の3回の調査においては, 毎回傾向が異なる項目が多かった。これは, 内川が浄化用

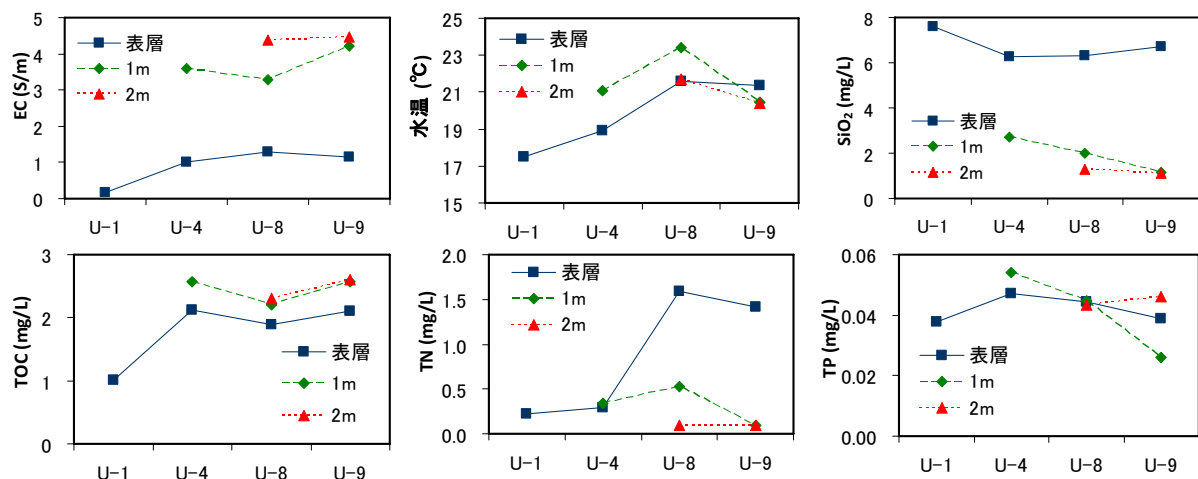


図-8 2010年6月に実施した鉛直方向の水質調査結果 (EC, TOC, 水温, TN, TP, SiO₂)

水と潮汐の影響を受けて複雑な流動をしているためと思われる。

そこで、流動状況と水質との関連をより詳細に把握するため、2010年6月10日(上げ潮時)に実施した鉛直方向の水質調査結果を図-8に示す。ECは、U-4～U-9地点において、海水の影響を受けて表層でやや高く、水深1m, 2mでは海水に近い値を示した。水温とpHも水深1mでは高くなったが、水深2mでは表層と同程度であり、水深1mと2mは別の水塊と思われる。SiO₂はU-1地点の浄化用水(庄川河川水)の7.59mg/Lに対し、U-4～U-9地点の表層で6.28～6.73mg/L、水深1m, 2mで1.12～2.72mg/Lであり、塩類効果で低下した¹³⁾。TOCはU-1地点のみ低かった、他地点では表層より水深1m, 2mの方が高かった。TNはU-8, U-9地点の表層で高いのが特徴であり、TPは他の項目に比べると、4地点間および鉛直方向の変化が小さかった。以上の結果は、前述した揚水機場稼働かつ上げ潮時の流況と対応しており、さらに、水質項目ごとの特徴が現れていると言える。

(3) 生物

植物プランクトンは流入河川と西内川、東内川で種類が異なっていた(表-2, 図-9)。流入河川と西内川では主に、*Asterionella*, *Aulacoseira*, *Melosira*, *Fragillaria*などの淡水性種が観察され、海水性(汽水性)の種はほとんど見られなかった。一方、東内川では、淡水性種のみではなく、*Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Tharassiothrix*などの海水性の種が多く見られた。

一般化線形混合モデルを用いてパラメータ推定を行った結果、塩分が低く、TP濃度が高いところでは淡水性の種数が多くなり、塩分が高く、DO濃度、TP濃度が低い地点では海水性の種が多くなる傾向が見られた(表-3)。水温、pH、TOC濃度、TN濃度は淡水性、海水性(汽水性)植物プランクトンの種数との関連性は見られなかった。

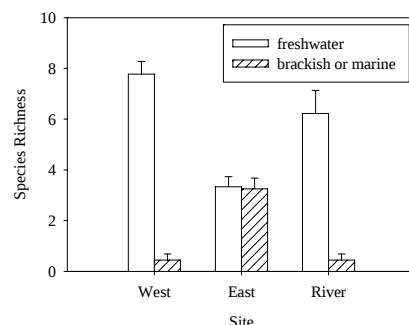


図-9 8月、9月、10月の西内川、東内川および内川に流入する河川における淡水性、海水性(汽水性)植物プランクトンの種数(平均±標準誤差)

5. 考察

公共用水域水質測定計画に基づき、内川では2地点(U-4, U-8)、富山新港では6地点、さらに富山新港沖において、富山県による水質測定が継続して行われている。2008年度のTNの測定結果¹⁴⁾によると、富山新港では奥部の1地点で最大2.2mg/Lを示しているが、他の5地点では0.10～1.0mg/Lで、富山新港沖では0.08～0.27mg/Lで推移している。それに対して、内川では0.36～0.64mg/L(U-4), 0.57～4.8mg/L(U-8)であり、本研究の調査結果と同様かそれ以上の変動を示している。富山新港内および新港沖での濃度が高くなく、変動もあまり大きくないことを考慮すると、内川で高濃度の水塊が認められるのは、本研究の2009年の調査結果に見られるように、内川への流入支川から時々高濃度の水が流入することが原因と考えられる。

一方、2008年度のTPの測定結果¹⁴⁾によると、富山新港(奥部を除く)では0.020～0.12mg/L、富山新港沖では0.007～0.018mg/Lで推移している。内川では0.024～0.079mg/L(U-4), 0.040～0.12mg/L(U-8)であり、本研究の調査結果と同様の変動を示している。TNと異なりTPでは、本研究の調査結果で見られた内川の流入支川で出現する高濃度が内川本川では認められない。これはリンが

表-3 一般化線形混合モデル (GLMM) を用いたパラメータ推定の結果. 内川で採集された淡水性および海水性・汽水性植物プランクトンの種数と水質の関係

Variable	Estimated Coefficient								AIC		
	Intercept	Temp.	pH	Salinity	DO	TOC	TN	TP	Best	Full	δ AIC
Freshwater	1.901	—	—	-0.07	—	—	—	7.62	18.74	26.48	7.74
Brackish and Marine	7.012	—	—	0.08	-0.81	—	—	-16.95	27.34	33.71	6.37

※モデル選択はAIC値を指標として行った.

※「Full」、「Best」、「 δ AIC」はそれぞれ、Full ModelとBest ModelのAIC値とその差を示す.

内川に流入した後、懸濁性物質に吸着し沈殿したり、Fe, Al, Caと沈殿物を形成するためと考えられる¹⁵⁾.

流入河川と西内川では淡水性の種類、東内川では海水性の種類が多く、東内川では海水の流入が多く観察された(図-9). 植物プランクトンは量的に非常に少ないが、東内川で西内川よりもやや多くなっていた. これは東内川には海水が流入してきているため、それに伴って海水性の種類が増えたためと考えられる.

淡水性植物プランクトンの種数は、塩分と負の相関を示し、一方で、海水性(汽水性)の種数は正の相関を示した(表-3). これらの結果は西内川と東内川の表層水の特徴を反映するものだった. TP濃度と各植物プランクトンの種数との関係も検出されたが、プランクトンの生物学的特性を反映したものではなく、淡水域である西内川に生活排水が流入することが原因であると考えられる.

調査の結果、内川では奈呉ノ浦への流出口を挟んで西では、陸上由来の資源(炭素や栄養塩)を基盤とし、東では主に海(富山湾)由来の物質を資源とする生態系が形成されていることが明らかとなった. また、調査期間中、内川全域で海水性魚類の稚仔魚が多く観察された. これは、富山湾に生息する魚類が内川において、陸上由来の資源を利用していることを意味する.

6. まとめ

水質調査の結果から、西内川における浄化用水の効果と東内川における海水の遡上と鉛直方向の水質変化が認められた. 流況観測の結果、東内川の流れはほとんど流れておらず、かつ非常に複雑であることが水質へ大きな影響を与えていることが考えられる.

また、生物調査の結果、揚水機場が運転している9時～17時までの西内川は庄川からの用水に支配され生態系が形成されていることがわかった. 一方、流況観測の結果から、夜間は西内川に海水が遡上していることから、夜間の生態特性があるものと推察され、今後継続的な調査が必要である.

これまでの現地観測の結果、抜本的な水環境改善には流域支川の水質向上が必要不可欠だが、河川流量や流速を増加させることが現状で最優先されるべきだと考えられる. そのため、現在、潮汐を考慮した浄化揚水機場の操作ルールの変更に伴う水環境改善効果について研究を

進めている.

謝辞：本研究の一部は「NPO法人水辺のまち新湊」との共同研究の一環で実施されたものである. また、本研究の遂行に際し、富山県立大学短期大学部の学生諸氏の協力を得た. 合わせてここに記して謝意を表す.

参考文献

- 1) 二渡了, 楠田哲也, 大石京子: 強混合河川六角川感潮部における懸濁物質濃度の変動特性, 土木学会論文集, No.452/II-20, pp.71-79, 1992.
- 2) 小松利光ら: 川内川河口部における塩水遡上について, 水工学論文集, 第40巻, pp.493-498, 1996.
- 3) 小松利光, 安達貴浩: 渇水時における河口部塩水浸入の制御法, 水工学に関する夏期研修会, 35-A, A.9.1-A.9.20, 1999.
- 4) 二渡了, 楠田哲也, 栗谷陽一, 古賀憲一, 古本勝弘: 六角川感潮部における水質変動特性(II), 第14回環境問題シンポジウム講演論文集, pp.40-45, 1985.
- 5) 二渡了, 楠田哲也, 栗谷陽一, 古賀憲一, 古本勝弘: 六角川感潮部における水質変動特性, 第13回環境問題シンポジウム講演論文集, pp.38-43, 1985.
- 6) Findlay S., Pace, M. and Fischer D.: Spatial and temporal variability in the lower food web of the tidal freshwater Hudson Liver, *Estuaries*, 19, pp.866-873, 1996.
- 7) Finlay J. C.: Stable-carbon-isotope ratios of river biota: implications for energy flow in lotic food webs, *Ecology*, 82, pp.1052-1064, 2001.
- 8) 布本博, 高瀬信忠: 内川河川(富山県新湊市)の水理模型実験に関する研究, 石川工業専門学校紀要, 第25号, pp.87-94, 1994.
- 9) 北陸地方建設局: 内川浄化事業計画書, 1976.
- 10) 新湊市, 高岡市: 内川流域浄化対策検討委員会報告書, 1991.
- 11) 北陸地方建設局: 内川流域浄化用水導入計画について, 1996.
- 12) Bolker B. M., Brooks M. E., Clark C. J., Geange S. W., Poulsen J. R., Stevens M. H. H., Henrs M. and White J. S. S.: Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution, *Trends in Ecology & Evolution*, 24: pp.127-135, 2009.
- 13) 半谷高久, 小倉紀雄: 第3版水質調査法, 丸善, 1995.
- 14) 富山県: 水質汚濁の現況(平成20年度), 2009.
- 15) 岩佐義朗編著: 湖沼工学, 山海堂, 1990.

(2010. 9. 30受付)