

# 同一内湾に流入する二河川の海水遡上特性の比較 ～リュウキュウアユ生息環境評価を念頭にして～

COMPARISON OF SEAWATER INTRUSION IN TWO RIVERS FLOWING INTO A  
SAME INNER BAY: FOR HABITAT EVALUATION OF RYUKYU-AYU

原田渉<sup>1</sup>・大槻順朗<sup>2</sup>・二瓶泰雄<sup>3</sup>・高橋真弓<sup>4</sup>・島谷幸宏<sup>5</sup>

Wataru HARADA, Kazuaki OHTSUKI, Yasuo NIHEI, Mayumi TAKAHASHI  
and Yukihiro SHIMATANI

<sup>1</sup>学生員 学(工) 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻修士課程  
(〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

<sup>2</sup>正会員 博(工) 東京理科大学助教 理工学部土木工学科(同上)

<sup>3</sup>正会員 博(工) 東京理科大学准教授 理工学部土木工学科(同上)

<sup>4</sup>非会員 学(工) 日本交通技術㈱

<sup>5</sup>フェロー 博(工) 九州大学大学院教授 工学研究院環境社会部門  
(〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡744)

Although the Sumiyo River has a similar size of basin and same inner bay to the Yakugachi River, it has smaller population of endangered freshwater fish called Ryukyu-Ayu, in Amami Oshima Is. Focusing on the upstream migration of the target species from inner bay, seawater intrusion measurement were conducted with GPS installed float, STD and ADCP. The result showed that the Yakugachi river has 6.9 times of total discharge from inner bay compared to the Sumiyo River from ebb tide to high tide. We speculated that the sill located on the entrance of the Sumiyo River is a blocking factor for seawater intrusion from inner bay.

**Key Words :** *Ryukyu-ayu (Plecoglossus altivelis ryukyuensis), seawater intrusion, tidal reach, Amami Is., habitat*

## 1. 序論

リュウキュウアユは、かつては沖縄県沖縄島と鹿児島県奄美大島に生息していたが、沖縄島では急速な開発影響により1970年代に絶滅し、現在では奄美大島の河川のうち、住用湾(役勝川、住用川、山間川)と焼内湾(河内川)に注ぐ河川に主に生息している。この奄美大島でも、近年、リュウキュウアユの個体数が激減しており、環境省レッドデータブックの絶滅危惧種IA類(CR)に指定された<sup>1)</sup>。これに加え、リュウキュウアユは同地域河川のキーストーン種であることから、リュウキュウアユの保全は河川全体の環境保全上極めて重要である。

両側回遊魚であるリュウキュウアユのライフサイクルとしては、冬季(11~3月)に感潮域直上の瀬付近において産卵を行い、その後、孵化した仔魚は直ちに降河し、海域で約90日間過ごした後、1~5月(主に3、4月)に海域から上流域へ遡上する<sup>2)</sup>。これらに対して、土地造

成等に伴う赤土流出による産卵場の消失・劣化や餌場(附着性藻類環境)の変化、河道改修による水温環境の変化・産卵場の消失、埋め立て等の河口開発による水温・塩分環境勾配の増大などという様々な人為的・自然的環境インパクトが存在する<sup>1)~5)</sup>。このように、リュウキュウアユの保全・管理には、その生息場・餌場・産卵場となる河川から内湾までの水温・塩分、土砂、水底質環境を適切に管理することが必須であり、これらは流域圏の環境水理学的課題の縮図とも見なせる。

リュウキュウアユの生息数の推移は、図-1に示すように、年毎に大きく変動しているものの、奄美大島の河川間でも大きな差が生じている<sup>2)</sup>。特に、住用湾に注ぎ、ほぼ同じ流域面積を有する役勝川と住用川を比べると、役勝川の個体数は住用川よりも1オーダー多くなっているが、この違いの要因は明らかにされていない。このように、ほぼ同一の環境(河口域や流域)を持つにも関わらずリュウキュウアユの個体数差が生じる要因を解明す

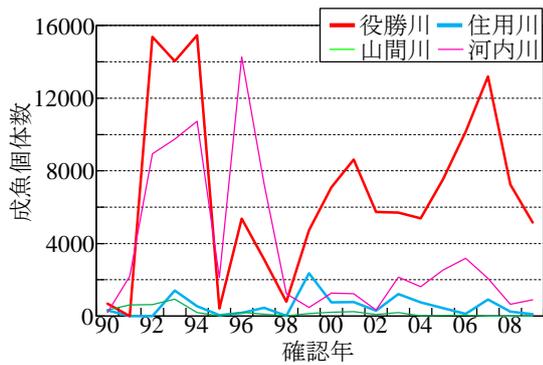


図-1 リュウキュウアユの個体数の経年変化（四宮<sup>2)</sup>，一部未公表）

ることは、今後のリュウキュウアユ保全・河川環境対策の立案・実施への重要な指針になるものと考えられる。

上記の課題を検討するために、本研究では、役勝川と住用川を対象として、河川上流から河口域までの流況や水底質環境調査を行い、両河川における物理・化学環境の概略を把握した。得られた観測結果より、河口部から両河川への海水遡上特性に大きな差が見られたため、集中的な海水遡上調査を実施した。それらの結果より、両河川における海水遡上状況をオイラー・ラグランジュ的観点から捉えると共に、河川間の海水遡上特性の違いを考察する。

## 2. 現地観測の概要

### (1) 役勝川と住用川の概要

両河川における流域概要を表-1、その位置を図-2に示す。役勝川は全長15km、流域面積45.1km<sup>2</sup>、住用川は全長16km、流域面積47km<sup>2</sup>である。また、流域の土地利用特性もほぼ山林でカバーされており、両河川はほぼ同じ流路長と流域環境を有する。また、河口部には、広大なマングローブ林及びその前面には干潟が広がっている。これらのエリアの一部は、奄美群島国立公園特別保護区になっており、自然状態が維持されている。

### (2) 全域観測

役勝川・住用川における流況や水底質環境の基本特性を把握するために、両河川の上流から河口域までの全域観測を行う。観測内容は、流量・水温の長期連続観測と水底質環境の縦断観測である。まず、前者では、図-2に示すように、役勝川ではStn.Y1（河口から2.3km）、住用川ではStn.S1（河口から2.7km）に水位と水温計測が可能なメモリ型測器（U-20 Water Level Logger, Onset社製）を設置した。観測期間は2011/7/20から2012/8/1までであり、計測時間間隔は10分もしくは20分とする。

次に、水底質環境観測では、図-2に示す役勝川4地点、住用川4地点において採水・採泥と共に、礫上の付着性藻

表-1 役勝川と住用川流域の概要

	全長 [km]	流域面積 [km <sup>2</sup> ]	土地利用	ダム	源流域の標高 [T.P.m]
役勝川	15	45.1	山林 97%	無	165
住用川	16	47.0	山林 95%	新住用川ダム	350

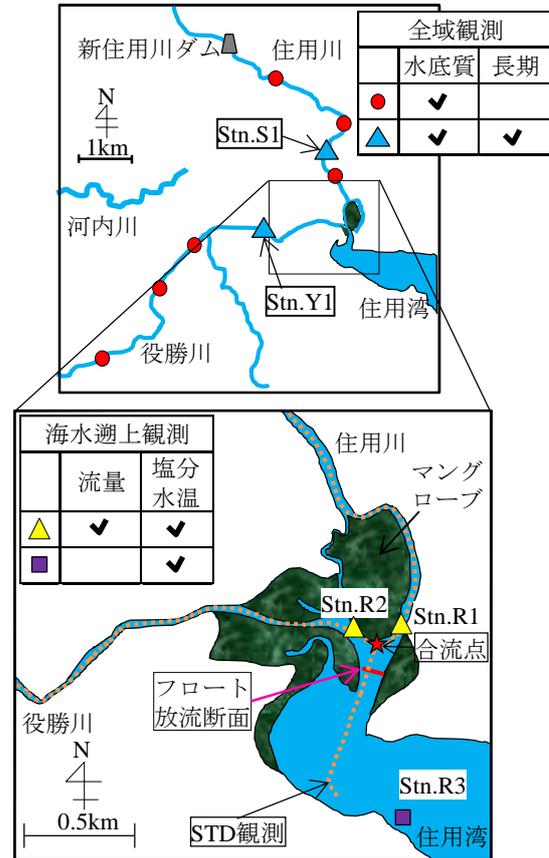


図-2 観測サイト

類の採取を行った。採水と採泥は2011/7/22と10/28に行われた。採水サンプルの分析項目・方法としては、オートアナライザー（swAAI, 株BLTEC製）により、窒素NとリンPの分析を行った。採泥サンプルに関しては、電気炉で600℃、2時間加熱して強熱減量を求め<sup>6)</sup>、ふるい分け試験により粒径分布を測定した。また、リュウキュウアユの成魚期の餌となる付着性藻類の繁茂状況を把握するために、複数個の礫を採取し（2011/7/22）、礫表面の付着性藻類を剥がし、得られたサンプルの強熱減量を計測した。なお、住用川の最上流部の地点では、藻類が付着した礫が無く、計測が行われていない。

### (3) 海水遡上観測

上記の観測と同時に、予備的に河口部での海水遡上状況を見たところ、明確な差が確認されたので、両河川に

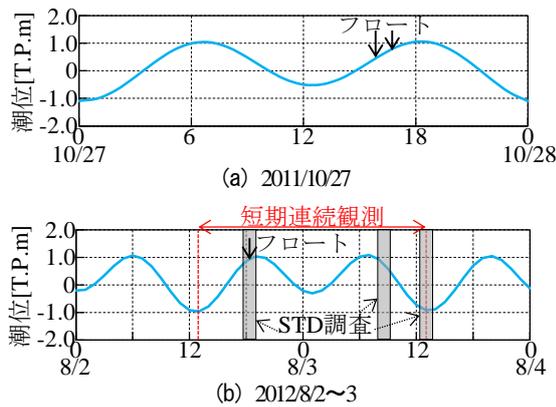


図-3 海水遡上調査の実施状況（潮位は外海データ）

おける海水遡上特性に関する集中観測を行った。ここでは、海水遡上状況を多角的に捉えるために、漂流フロート調査と水温・塩分・流量の短期連続観測、STD (Salinity-Temperature-Depth) による水温・塩分の縦断調査、という3つの調査を実施した。まず、漂流フロート調査は、海水遡上に伴ってパンプスカラーがどちらの河川を遡上しやすいかをラグランジュ的に把握するために、役勝川と住用川の合流点よりも120m下流側の横断面(図-2)に複数の漂流フロートをほぼ同時に放流し、その軌跡を追跡する。用いたフロートとしては、断熱材(30cm四方、厚さ5cm)に抵抗体(ドロッグ、高さ17cm)を表層直下と水面下約1mに取付け、それぞれ表層及び中・底層の海水遡上状況を追跡する。また、フロートの時々刻々の位置を追跡するために、守田ら<sup>7)</sup>と同様に、GPSロガー(Geko201もしくはEtrex H, Garmin社製)をプラスチック製ケースに入れ、それを一部のフロートに搭載した。GPSロガーを搭載していないフロートについては、放流・回収する際にGPSデータを別途取得した。漂流フロート調査については、2011/10/27に2回と2012/8/2に1回の計3回行われ、いずれも上げ潮時に実施された(図-3)。漂流フロートは計16台作成し、2011/10/27の観測では、2つのドロッグ高さを各8台ずつとし、それらのうち6台にはGPSロガーを入れた。2012/8/2の観測では、ドロッグ高さは全て表層とし、全9台にGPSロガーを入れた。漂流フロートを放流してから約1時間後までには全フロートを回収した。

次に、水温・塩分・流量の短期連続観測では、海側(Stn.R3)及び両河川合流部から約100m上流地点において(Stn.R1, R2)の3地点において、メモリ式水温塩分計(Compact-CT, JFEアドバンテック(株)製)や小型水温計(WTP, Onset社製)、超音波ドップラー流速分布計(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP, 河川のみ)、自記式水位計(U-20 Water Level Logger, Onset社製)を設置した。ここでは、密度成層状況を把握できるように、鉛直方向に水温塩分計3台(水面下0.3m, 0.5m, 底面から

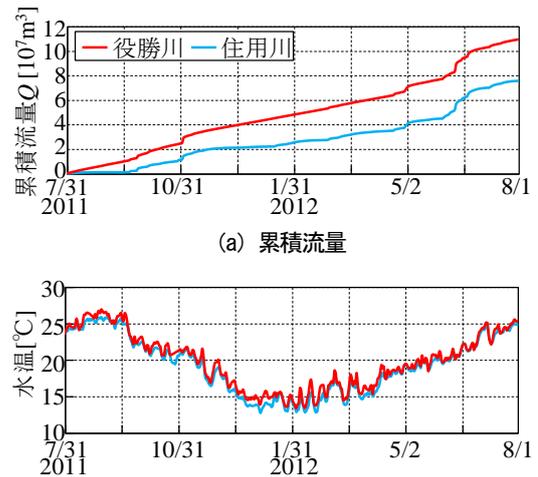


図-4 役勝川(Stn.Y1)と住用川(Stn.S1)における累積流量と水温の時間変化(2011/8/1から1年間)

0.5m)、水温計4台を設置し、ADCPは河床面に鉛直上向きに固定された。観測期間は、2012/8/2 13時から約24時間であり、大潮期の2潮汐を対象とした。

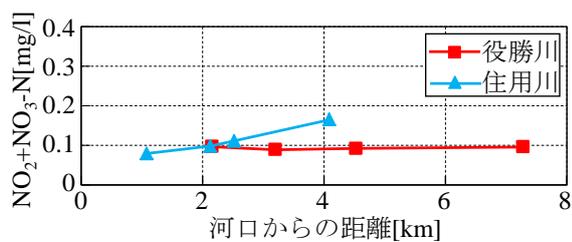
これと連動する形で、水温・塩分縦断調査として、多項目水質計(Compact-STD, JFEアドバンテック(株)製もしくはDatasonde5x, 環境システム(株)製)を用いて、図-3に示す3回(満潮、下げ潮、干潮時)に水温・塩分・濁度等の縦断調査を行った。両河川では、図-2に示すように、合流部から海水遡上範囲を越える上流側までを対象とし、海側では合流部から0.7km沖側までとした。

### 3. 両河川における流量・水温・水底質環境の比較

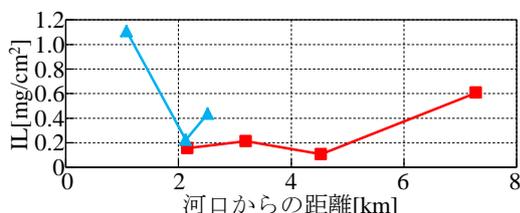
#### (1) 1年間の流量・水温の時間変動特性

まず、役勝川と住用川における流況や水温の特徴を把握するために、1年間にわたり連続計測された流量の累積値と日平均水温の時間変化を図-4に示す。ここでは、2011/8/1から1年間について、役勝川のStn.Y1と住用川のStn.S1の結果が表示されている。これより、累積流量としては、役勝川の方が住用川よりもやや大きく、年間値で見ると、その比は1.45倍である。また、平水流量を求めたところ、役勝川で $2.30\text{m}^3/\text{s}$ 、住用川では $1.24\text{m}^3/\text{s}$ であり、その差は1.85倍となっており、両河川における流量の比は平水時の方が大きい。

日平均水温については、夏季では最高で約 $26.5^\circ\text{C}$ となり両河川間では明確な差はない。一方、産卵期を迎える冬季では、 $15^\circ\text{C}$ を下回る日が多く、最低水温としては役勝川で $13.4^\circ\text{C}$ 、住用川で $12.8^\circ\text{C}$ となり、役勝川の方が若干高い。このように両河川の水温については、気温と比べて季節変動幅が小さくなっている。このような水温の安定化には伏流水や地下水流入の影響が大きいものと考えられる。



(a) 水質 (NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-N)



(b) 付着性藻類量

図-5 水底質環境の縦断変化 (2011/7/22)

## (2) 水底質環境の縦断変化

次に、両河川における水底質環境を比較するために、全域観測により得られた水質（亜硝酸・硝酸態窒素濃度の和 NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>-N）と付着性藻類の強熱減量に関する縦断変化を図-5 に示す。ここでは、2011/7/22 のみの結果を表示する。これより、水質データとしては、両河川に大きな差は見られなく、その差も 0.1mg/l 程度となっている。また、別途計測された PO<sub>4</sub>-P に関しては（図面省略）、両河川共に 0.01mg/l 程度かそれ以下となり、非常に小さい。一方、付着性藻類に関する単位面積当たりの強熱減量については、住用川の最下流部において 1.0mg/cm<sup>2</sup> を越える値が得られているが、全般的には、0.2~0.4 mg/cm<sup>2</sup> の大きさとなっており、明確な差異は観測されていない。

以上のことから、両河川全域における流量・水温・水底質環境の基本特性はいくつか違うが、特徴的な差異は見られていない。このため、これらの環境要因が図-1 に示した両河川におけるリュウキュウアユの個体数差を生み出す直接的な要因にならないものとは考えられる。

## 4. 両河川における海水遡上特性の違い

### (1) 漂流フロートのラグランジュ的挙動

役勝川と住用川における海水遡上特性を明らかにするために、漂流フロートの軌跡の一例を図-6(a) に表示する。ここでは、2011/10/27 17:01 に放流されたフロートのうち、GPS ロガーを搭載し、抵抗体を表層・水面下 1m に付けたものを 2 台ずつの結果を抽出している。なお、この時の風向風速は同図のように南南西 1.7m/s であった。これより、放流断面において相対的に右岸側に放流された 2 台は役勝川へ、左岸側へ放流された 2 台は住用川方向に遡上しているが、それらの様子は大きく異なる。すなわ

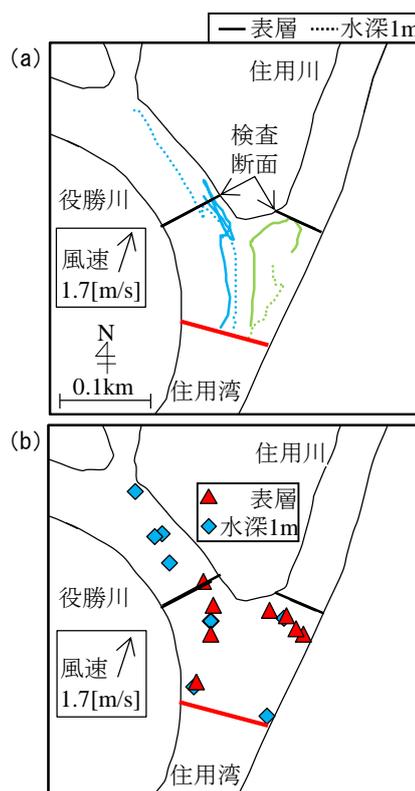


図-6 漂流フロートのラグランジュ的軌跡(a)と回収位置(b)  
(放流時間：2011/10/27 17:01~18:03)

表-2 漂流フロートの遡上結果

観測日時	風向 風速	検査断面を越えた個数	
		役勝川	住用川
2011/10/27 16時	北西 2.0~2.2[m/s]	8	2
2011/10/27 17時	南南西 1.7[m/s]	5	0
2012/8/2 18時	南南西 1.5~3.6[m/s]	0	3
合計		13	5

ち、役勝川方面に進んだ 2 台のフロートはスムーズに河川を遡上しているが、住用川方面の 2 台のうち 1 台（底層）は左岸側に漂着し、もう 1 台（表層）は住用川を遡上せず時計回りに大きく循環していることが分かる。

そこで、同一時刻に放流された 16 台のフロートの回収時の位置を図-6(b) に示す。これより、役勝川方向に遡上したのは 8 台、住用川方向へ 5 台、放流断面付近に留まるのが 3 台である。この住用川方向に進んだ 5 台は、同図(a)と同様に、上流方向には進まず、合流点付近に留まっている。

ここで、河川を遡上したフロートの数を定量評価するために、両河川において合流点から 25m 上流に検査断面を設け（図-6(b)）、そこを通過したフロートを遡上台数としてカウントした結果を表-2 に示す。ここでは、3 回の観測結果に関して、各河川への遡上台数とその時の風向風速も合わせて表示している。これより、3 回の観測

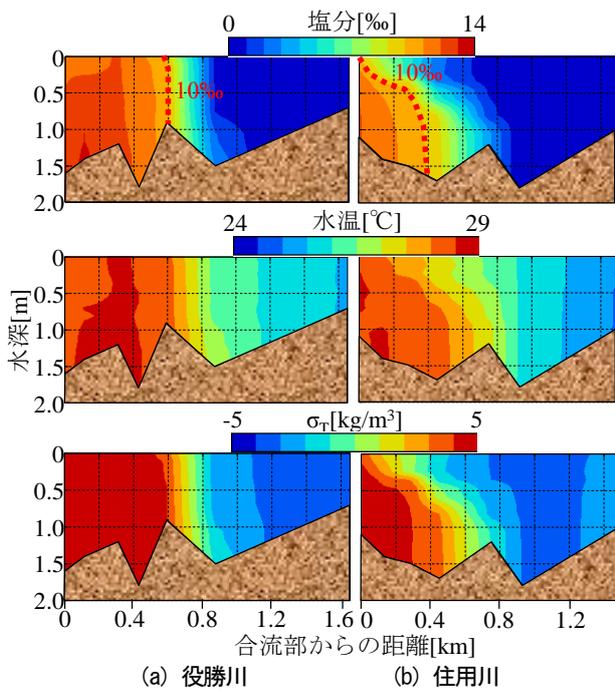


図-7 水温・塩分濃度・ $\sigma_T$ の縦断変化(満潮時, 2012/8/2 18時)

結果を合わせた遡上台数は、役勝川では13台、住用川では5台と相対的に役勝川の方にフロートが遡上していることが分かる。このように、漂流フロートという流れにパッシブな物質の遡上状況は、両河川にて明確に異なることが明らかとなった。

## (2) 水温・塩分濃度・流況の比較

漂流フロート観測とは異なる観点から両河川における海水遡上状況を比較するために、満潮時(2012/8/2 18時)に行われたSTD観測結果として、水温と塩分濃度及びそれらから算出される海水密度 $\sigma_T$ の縦断変化を図-7に示す。これを見ると、相対的に高温・高塩分の海水が両河川共に侵入している様子が伺えるが、役勝川の方が住用川よりも全体的に塩分濃度・水温共に高い。また、底層の海水遡上距離は、塩分濃度10‰の到達位置を基準とすると、役勝川では合流点から600m、住用川では400mである。このように、STD調査結果からも役勝川の方が相対的に海水遡上量が大きくなっている。また、これらのSTD調査結果より、役勝川では鉛直方向にほぼ様な「強混合状態」となっているが、住用川では表層と底層で密度成層が形成される「弱混合状態」となっている。この観測は平水時に行われており、河川流量は役勝川の方が大きいことから、これらの海水侵入形態の差は海水遡上量の差に相当していることが示唆された。

そこで両河川における流況を見るために、水位と水深平均流速、流量の時間変化を図-8に示す。ここでは、役勝川(Stn.R2)と住用川(Stn.R1)にて行われた短期連続観測結果が用いられている。また、水深平均流速に関し

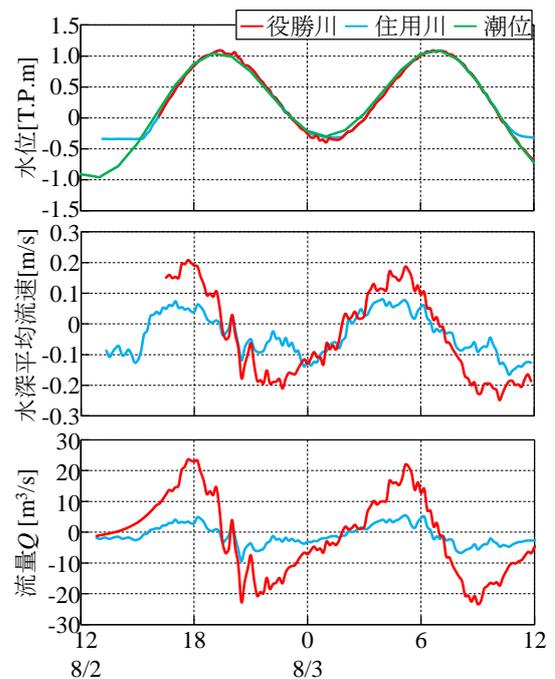


図-8 役勝川(Stn.R2)と住用川(Stn.R1)の水位(a)、水深平均流速(b)、流量(c)の時間変化(2012/8/2~3)

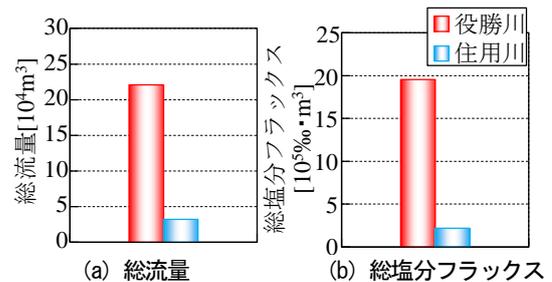


図-9 上げ潮時の総流量と総塩分フラックス(2012/8/2 12:50~19:20)

ては、ADCPデータより算出し、水表面・底面の補間は二瓶ら<sup>8)</sup>と同じとする。流量 $Q$ に関しては、時々刻々の水位観測値と別途行われた断面測量結果より、時々刻々の河川断面積を算出し、それにADCPによる水深平均流速を乗じたものを与える。なお、流速と流量に関しては、30分移動平均を施している。また水位には参考のため外海データも図示する。まず水位については、役勝川では概ね外海データと類似しているが、住用川では干潮時においてある水位(約-0.3[T.P.m])より下がっていない。これは、合流点からStn.R1の間に河口マウンド(シル)が形成されているものと考えられ、他のマングローブを有する河川でも確認されている<sup>9)</sup>。また、水深平均流速は潮位に伴って変動しており、その流速振幅は、役勝川で0.20m/s、住用川で0.12m/sとなり、役勝川の流速振幅が住用川の値の倍近い。この水深平均流速と横断面形状(図面省略)の差を反映して、流量の変動振幅も役勝川の方が大きい。この流速データと前述した水温・塩分データを使いバルクリチャードソン数を求めた結果、役勝川で4.6、住用川で13.8となり、この差が海水遡上の混合形態

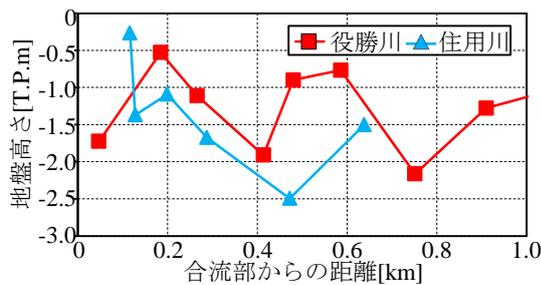


図-10 両河川における河床縦断変化



図-11 河口マウンドが有る場合の海水遡上阻害の模式図 (上げ潮時)

の違いと関係している<sup>10)</sup>。

海水遡上量と直接関係する上げ潮時の総流量や上流向き塩分フラックスの総和を求めた結果を図-9に示す。ここでは、干潮時から満潮時(2012/8/2 12:50~19:20)までの流量と塩分フラックスの積分値を表示している。これより、役勝川と住用川の結果の比は、総流量で6.9、総塩分フラックスで9.0であり、両河川の海水遡上量の差は顕著である。このように、オイラー的手法とラグランジュ的手法の両方の調査により、役勝川の海水遡上量が住用川よりも極めて大きいことが明らかとなった。

### (3) 両河川間における海水遡上状況差の形成要因

役勝川と住用川の海水遡上状況の差が形成される要因を検討する。図-10は、両河川における河床縦断変化を表す。これより、住用川の河口部には-0.26[T.P.m]の極めて浅い部分があり、これが、前述した河口マウンドに相当している。干潮時には、この河口マウンドの大部分は干出し、左岸側の一部(幅5m程度)に流れが集中していることが観察された。一方、役勝川でも同図より浅い部分は見られるが、干潮時でも外海水位と同じ挙動をしており、住用川のようなマウンドは形成されていない。

このような河口マウンドが存在すると、図-11に示すように、上げ潮時にはマウンドが大きな抵抗体となり、底層の高塩分水塊の遡上がマウンドにより止められてしまうなど、海水遡上そのものが阻害されてしまう。また、下げ潮時後半や干潮時には、マウンドにより、河川と海域が分断されてしまい、物質輸送や生物の移動も大きく制約される。このような河口マウンドの存在が海水遡上を大きく抑制し、結果として、役勝川と住用川の海水遡上状況の差を形成しているものと考えられる。

## 5. おわりに

本研究により得られた結論は以下のとおりである。

- 1) 漂流フロートやSTD縦断調査結果から、役勝川と住用川では海水遡上形態が明確に異なることが確認された。
- 2) 役勝川と住用川の総流量、総塩分フラックスの比はそれぞれ6.9、9.0であり、役勝川の海水遡上量が住用川に比べ顕著に大きいことが明らかとなった。
- 3) 住用川には河口マウンドが存在しており、これが海水遡上を阻害している要因であることが考えられる。

なお、両河川の海水遡上特性の差がリュウキュウアユの遡上パターンや両河川の個体数差と関係しているものと推測されるが、直接的な比較は今後の課題とする。また、実際のリュウキュウアユの遡上期(1~5月)における海水遡上状況や河口マウンドの季節変化を捉えることも必要である。

**謝辞:** 鹿児島県大島支庁総務企画課及び建設部建設課には、現地観測に対して様々な便宜を図って頂いた。本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)(課題番号:22310050, 研究代表者:島谷幸宏)によるものである。現地観測の実施に際して、(株)マングローブ公社・寿浩義氏及び東京理科大学理工学部土木工学科水理研究室学生諸氏に大変お世話になった。ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 環境省:レッドデータブック, pp.30-31, 2008.
- 2) 四宮明彦:日本の希少淡水魚の現状と系統保存リュウキュウアユ(長田芳和・細谷和海編), 緑書房, pp.36-47, 1997.
- 3) 岸野底, 四宮明彦, 寿浩義:リュウキュウアユ仔魚の水温・塩分耐性に関する生存実験, 魚類学雑誌, vol.55, pp.1-8, 2008.
- 4) 岸野底, 四宮明彦:奄美大島の河川におけるリュウキュウアユ遡上個体の出現状況, 日本水産学会誌, vol.70, pp.179-186, 2004.
- 5) 大槻順朗, 島谷幸宏:河口域の人為改変に伴うリュウキュウアユ仔稚魚の生理的生息条件に対する影響評価, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.68, No.4, pp.1709-1714, 2012.
- 6) 有路隆一, 八木宏, 灘岡和夫, 中川康之, 小川浩史, 下迫健一郎, 木村俊介:東京湾多摩川河口周辺域における低質環境の時空間変動特性, 土木学会論文集B2(海岸工学), vol.66, pp.446-450, 2010.
- 7) 守田千里, 二瓶泰雄, 尾ノ井龍仁:携帯電話搭載型フロートによる河川漂流ゴミ挙動の検討, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.68, No.4, pp.1363-1368, 2012.
- 8) 二瓶泰雄, 色川有, 井出恭平, 高村智之:超音波ドップラ一流速分布計を用いた河川流量計測法に関する検討, 土木学会論文集B, Vol.64, No.2, pp.99-114, 2008.
- 9) 二瓶泰雄, 中村武志, 綱島康雄:現地観測に基づくマングローブ河口域における sill 形状と海水交換特性の検討, 海岸工学論文集, Vol.50, No.2, pp.1121-1125, 2003.
- 10) 宇野木早苗:沿岸の海洋物理学, 東海大学出版会, pp.473-474, 1993.

(2012.9.30 受付)