

リュウキュウアユ保全に向けた 干潟マングローブ域の水域冷却機能の現地観測

THE OBSERVATION FOCUSED ON THE COOLING FUNCTIONS OF TIDAL FLAT AND MANGROVE FOR THE PROTECTION OF THE RYUKYU-AYU

大槻順朗¹・島谷幸宏²・四宮明彦³・上野あやな⁴・河口洋一⁵

Kazuaki OTSUKI, Yukihiro SHIMATANI, Akihiko SHINOMIYA, Ayana UENO and Yoichi KAWAGUCHI

¹ 学生会員 工修 九州大学大学院工学府 (〒819-0395 福岡市西区 744)

² フェロー会員 工博 九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区 744)

³ 非会員 水産博 鹿児島大学水産学部 (〒890-0056 鹿児島市下荒田 4-50-20)

⁴ 非会員 九州大学工学部 (〒819-0395 福岡市西区 744)

⁵ 正会員 学術博 九州大学大学院工学研究院 (〒819-0395 福岡市西区 744)

In this study, we conducted multipoint continual observations of the water temperature to examine the cooling functions of the water area at the tidal flat and at the mangrove area in the Amami-Oshima Island. The result showed that the average temperature of the seawater flowing into the river mouth was 20.2°C, and the average temperature of the river was 13.7°C. Also, the average temperature at the river mouth was usually less than 20°C. On the other hand, the water temperature hardly reached below 20°C (at which Ryukyu-ayu (*Plecoglossus altivelis ryukyuensis*) cannot survive in) at the river mouth where tidal flat and mangrove do not exist. We speculated that the mixture of seawater and river water was promoted by the existence of the tidal flat and mangrove.

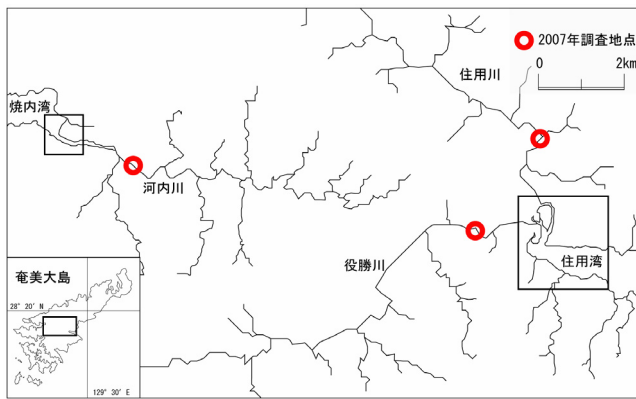
Key Words : WATERTEMPERATURE, TIDAL FLAT, MANGROVE, COOLING FUNCTION
RYUKYU-AYU (*Plecoglossus altivelis ryukyuensis*)

1. はじめに

河口域や内湾域は陸海空の影響を色濃く受ける極めて限定的な環境であるため、地球温暖化による影響が特に鋭敏に現れると考えられる。従ってこのような場に大きく依存する生物のいくつかは今後存続が懸念されるだろう。奄美大島に生息するアユの亜種、リュウキュウアユ (*Plecoglossus altivelis ryukyuensis*) もそのような生物のひとつである。近年、個体数減少が著しく、環境省絶滅危惧種ⅠA 類に指定されている。沖縄島では既に絶滅が確認され、奄美大島での絶滅も予断を許さない。本種は河川水温が 20°C を下回る 11 月以降に産卵を開始し¹⁾、翌 2-3 月の水温上昇とともに終了する²⁾。孵化後の仔稚魚期は河口海域に生息し、水温の上昇とともに河川を遡上する。この時、汽水域の水温が 20°C 以上の時期に孵化した

多くの個体は河川へ回帰しない³⁾、20°C 以上の期間を多く経験した個体の成長量は低下する²⁾ といった現地観測報告に加え、実験的にも仔稚魚の 20°C 以上の高水温に対する耐性が低いことが示されている⁴⁾。一方、河口域の東シナ海南部の海面水温は 1.44°C/100 年の上昇傾向にあり⁵⁾、河口海域の水温上昇が個体数減少の主要な要因である可能性が高い。従って、本種の保全・再生に当たっては河口域の水温管理が極めて重要であると考えられる。

現在、奄美大島の河川河口域の多くは埋め立てや沿岸開発などの大規模な人為改変が加わっているが、生息数最大河川の役勝川河口域には広大な干潟マングローブ域が現存する。干潟域および極浅海域の水理環境、温熱環境については水鳥ら⁶⁾ や内山ら⁷⁾ などの研究を中心に多くの調査解析がなされている。マングローブ域については干潟域と比較し知見の蓄積は十分とは言えないが、



a) 2007 年調査位置図



b) 2008 年調査位置図(役勝川・住用川河口域)



c) 2007 年調査位置図(河内川河口域)

図-1 調査位置図

松田ら⁹⁾によって先駆的な研究がなされている。特に二瓶ら^{10) 11)}はマングローブ域に氾濫した海水が冷却される現象について言及している。よってこのような地形は、本種に好適な水温環境を提供していると推測できる。しかし、干潟マングローブ域の持つ水域冷却効果に関する知見の蓄積は不十分であり、河川水流入の効果や干潟域やマングローブ域が複合的に発揮する効果を考慮した観測を行った事例は見られない。そこで本研究では、役勝川と人為改変の加わった河口域を持つ河内川との水温環境の比較から、干潟域・マングローブ域の持つ水域冷却効果を検証する現地観測を行った。

2. 調査手法

2.1 調査対象河川概要

本研究の調査対象地は鹿児島県奄美大島東部住用湾に

注ぐ役勝川河口、及び奄美大島西部焼内湾に注ぐ河内川河口である。役勝川は河口付近で役勝川と同規模の住用川と合流し、約 71ha のマングローブ域とその下流部に干潟域を伴う広大な河口域を有する。役勝川河口域のマングローブ林はメヒルギが優占種であり、干潟域の底質はややシルトを含む砂質である。一方、河内川河口域は埋め立てによる大規模な人為改変により干潟マングローブ域のほとんどが喪失している。河道は河川改修により直線化され、川幅が狭められている。役勝川、住用川、河内川の流域面積は各々 46.4km²、47.0km²、39.7km²、河口間距離は 12.1km である。流域面積が小さく隣接しているため、流域間の気象条件はほぼ同じであると考えられることから、役勝川河口域に流れ込む河川流量はおおよそ 2.4 倍であると推測できる。

2.2 調査内容

1) 2007 年調査

河口海域における水温分布は、前述のように干潟マングローブ域の存在が何らかの影響を与えていると考えられるものの、主には高温の海水と低温の河川水との混合で形成され则认为られる。そこで対象とする 2 つの河口域に流入する河川の河川水温を比較する目的で、2007 年 2 月 22 日より 4 月 1 日まで図-1 a) に示す 3 地点で水温観測を行った。観測地点に選定した 3 点はいずれもリュウキュウアユの産卵場となる感潮域直上の瀬であり、河口域からの距離は河内川、住用川、役勝川でそれぞれ約 2.5km、約 3.3km、約 2.4km であった。

2) 2008 年調査

干潟マングローブ域の水温変動特性を詳細に把握するため、両河川の河口域において 2008 年 2 月 7 日から 3 月 1 日まで水温多点連続観測を実施した。観測点を図-1 b) c) に示す。観測地点は岸野らによる仔稚魚出現率調査結果³⁾を参考に、仔稚魚の出現率が高い地点を中心に選定した。河内川河口域においては河口域にわずかに残る干潟域に 5 点設けた。役勝川河口域においては、河口域に流入する地点で住用川・役勝川ごとに 1 点ずつ、海域と考えられる地点で 1 点設けた。マングローブ林の繁茂する地点で 4 点、うちクreek 内に 2 点設けた。干潟域については 16 点、滞筋沿いに 2 点の計 25 点設けた。

2.3 使用機器

自記式水温計(Hobo WatertempPro v2,及び TidbiT v2 :共に Onset 社)を用い、係留ブイを用い表層(水面から 10cm)と底層水温の 10 分毎の連続観測を行った。

2.4 現地地形測量

回転式レーザーレベリ(SOKKIA 社製)と DGPS(Trimble 社製)を用いて地形測量を行い、2008 年に行った観測地点の位置座標と地盤高を明らかにした。潮位(気象庁奄美観測所)と比較し、潮位が地盤高より低い場合には干出しているとみなし、その時刻におけるデータは解析・考察に用いなかった。

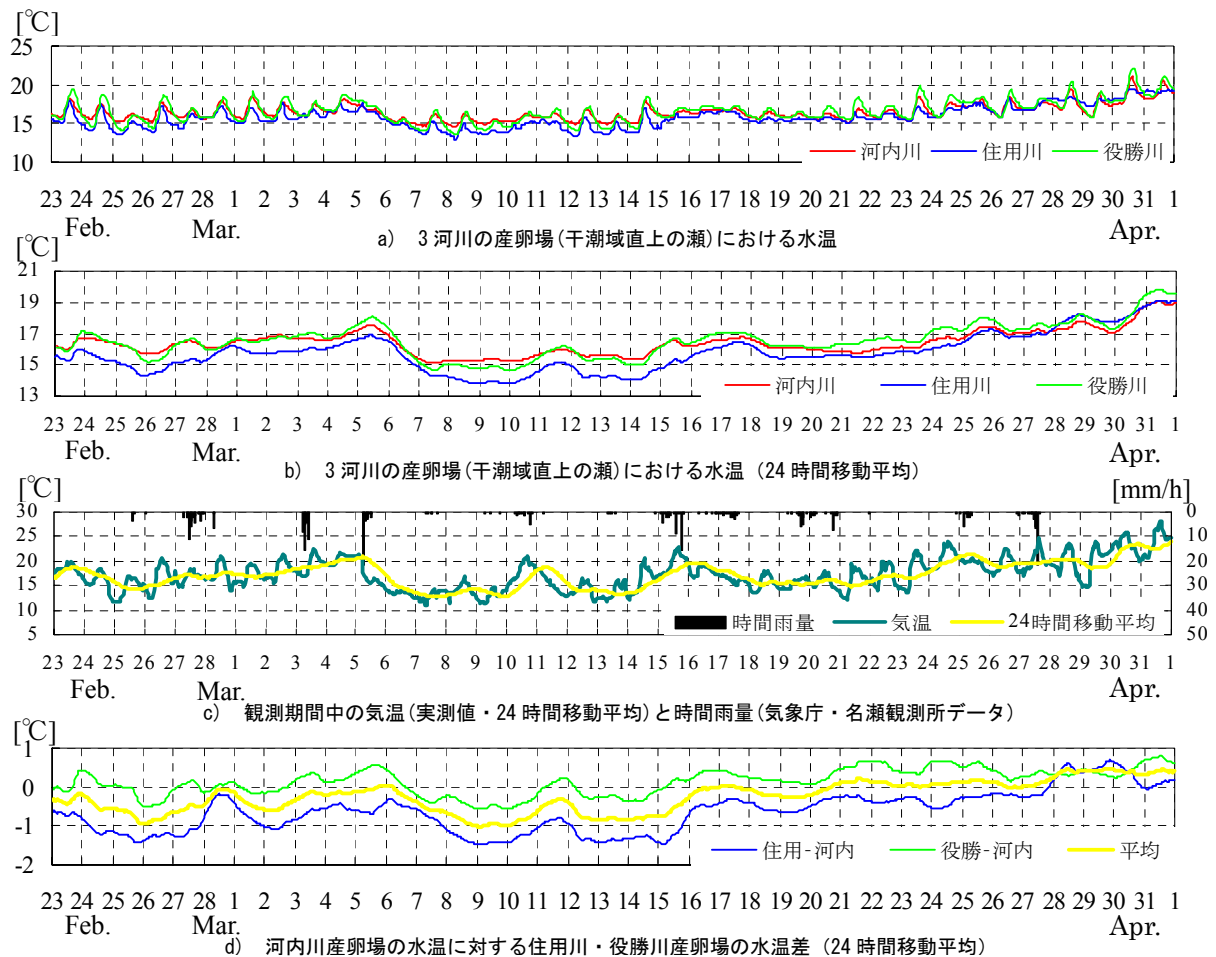


図-2 2007年調査の観測結果

3. 結果と考察

3.1 2007年調査

1) 河内川, 住用川, 役勝川河川水温の変動特性

図-2 a)に3河川の水温の観測値を示す。3河川とも日中水温が上昇し、夜間に低下する日周期変動成分を持っていた。一日の変動幅は日により異なるが概ね $0.5\text{--}3.7^{\circ}\text{C}$ (平均 1.8°C)であった。

図-2 b)に観測開始から3/27までの3河川の水温の24時間移動平均値を示す。これを見るとほぼ全期間にわたって住用川の水温が最も低いことがわかった。3河川の観測期間中の平均水温を比較すると、住用川の水温は河内川と比較し約 0.6°C 、役勝川と比較し約 0.7°C 低かった。変動波形は3河川ともほぼ同様であった。役勝川を例にすると、役勝川の水温は観測開始まもなくは 16°C 程度の値を示していたが、3月上旬に 15°C 弱まで低下し、その後徐々に上昇し、4/1には 19°C を上回っていた。水温変動は図-2 c)に示す気温の変動とほぼ対応しており、河川水温と気温に正の相関関係が成立した。(相関係数 R^2 値が河内川, 住用川, 役勝川で各々0.71, 0.67, 0.62)

3河川の水温を比較するため、図-2 d)に河内川に対する住用川, 役勝川の24時間移動平均値の差、及び2つの水温差の平均値を示す。河川間の水温差は観測期間前半

に大きく、後半となるにつれて小さくなった。住用川の水温は河内川と比較し平均で 0.6°C 、最大で 2.2°C 低く、役勝川の水温は平均で 0.2°C 高かった。ここで住用川は役勝川とほぼ同規模の河川であり河口間近で合流することを考慮し、河口域に及ぼす影響を考察するために両河川の水温差の平均値を算出したところ、河内川と比較し平均で 0.2°C 低く、最大水温差は 1.0°C であった。

以上より、3河川の水温は河川間に差異が認められるものの、水温差は概ね $\pm 1^{\circ}\text{C}$ であり、後述の干潟マングローブ域の水温変動差と比較し小さい。従って、3河川の水温差それ自体は河口域の水温分布形成やリュウキュウアユ生息に特段の差異を与えないと考えられる。しかし、同規模の河川が2河川流入する役勝川河口域と、1河川しか流入しない河内川河口域では流入する河川水の流量に大きな差があるため、水温環境の評価を行う上では流量や河川水と海水の混合の程度を評価する必要がある。

3.2 2008年調査

1) 海水温・河川水温の変動特性

図-3 a)に住用川河川水温と住用湾海水温(底層)変動を示す。海水温は平均 20.2°C ($18.8\text{--}21.7^{\circ}\text{C}$)で、観測期間後半になるにつれ、わずかに低下する傾向が見られたものの、大きな変動はなく周期性も特段観測されなかった。したがって、海水が直接流入するような場ではリュウキュウ

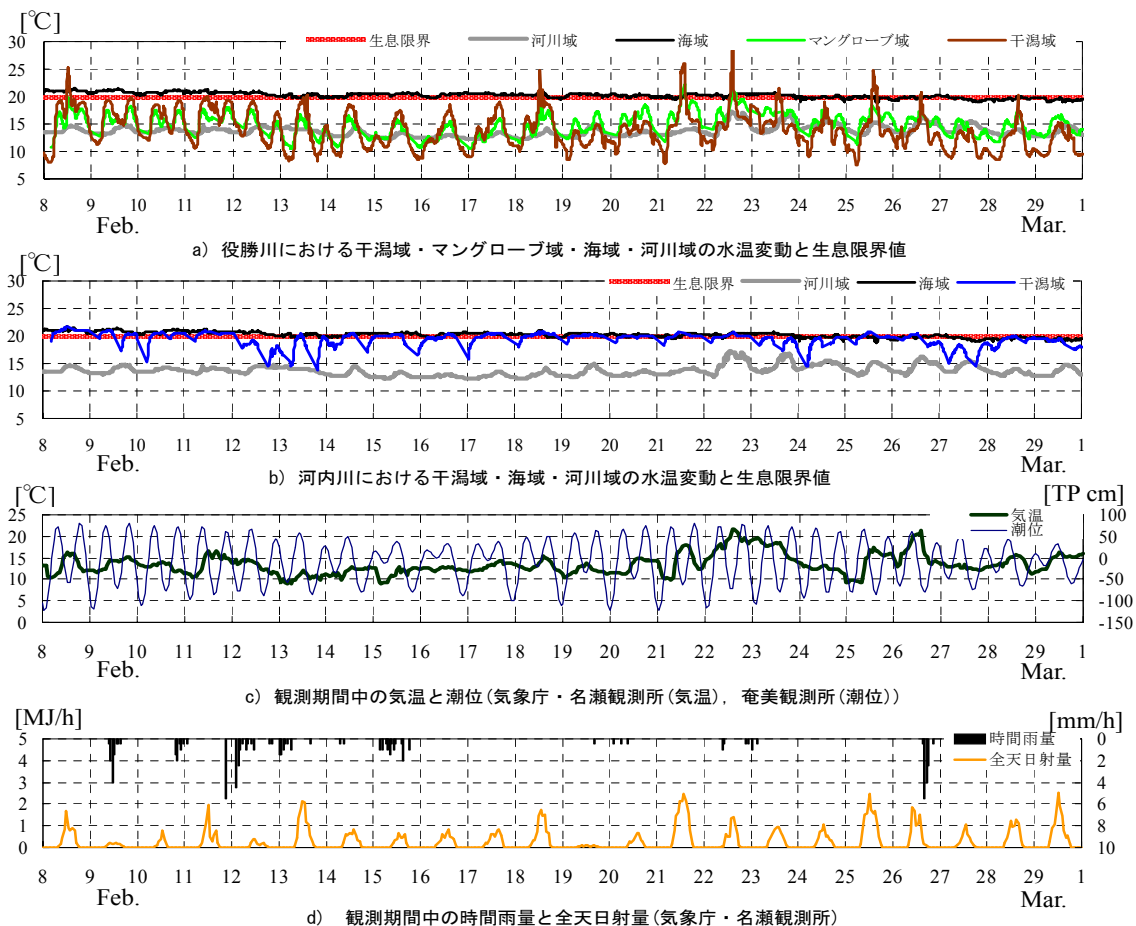


図-3 2007年調査の観測結果

アユの生息限界と考えられる 20°Cを超える高水温域となると考えられる。

河川水温は平均 13.7°C(12.3-17.4°C)と、海水温と比較し平均で 6.5°C低かった。変動に関しては、2007 年調査同様、図-3 c)、図-3 d)に示す気温や全天日射量に対応した日周期変動成分が認められ、変動幅は観測期間前半と比較し、後半のほうが平均的に高く、変動も大きかった。これは気温の上昇と変動幅の拡大によると考えられる。

2) 干潟・マングロープ域の水温変動(役勝川)

図-3 a)に役勝川における干潟域及びマングロープ域の底層水温の同一時刻平均値を示す。平均した地点は図-1 b)c)の凡例に示す通りである。役勝川干潟域の水温は観測期間平均で 13.9°Cであり、海水よりもかなり低く、河川水と比較しても大きな差はなかった。1 日で 2 回から 3 回のピーク値を示し、日較差は平均で 10.9°Cと、海水温や河川水温の日較差(それぞれ 1.0°C, 1.9°C)と比較し大きかった。水温変動は主に潮位の変動と対応しており、潮位の上昇とともに水温が上昇し、潮位の低下とともに水温が低下していた。潮位差の大きい大潮時は平均的に高水温であり、最高水温、最低水温とも小潮時と比較し高かった。

夜間の干潮時には干潟域において河川水温を下回る水温が観測された。これは水深減少と共に水塊の熱容量が小さくなり、放射冷却による水温低下の影響を受けやす

くなるためであると考えられる。これに対し、日中の干潮時に顕著な高水温を観測した。これは、夜間とは逆の現象で日射によって水塊が温められる効果が顕著に出ていることに加え、干出時に日射的作用によって干潟面が蓄熱され、冠水と共に水塊と熱交換するためと考えられ、内山ら⁷⁸⁾が行った夏季の東京湾奥極浅海域における結果と類似する。ただし、本調査期間は冬季であり、またこの時期の奄美大島は雨天が多く、夏場のように全天日射量のピーク値が 2MJ/h に達するような強い日射に晒されることがまれであった(図-3 d)参照)ため、この現象により顕著な水温上昇が頻繁に観測されなかったと推測する。

マングロープ域では干潟域に比べ水温が上昇しにくく(日最大平均値: 17.9°C, 干潟域: 20.2°C)、変動幅が小さくなる(日較差 3.3°C)傾向が示された。これはマングロープ域が干潟域より上流に位置し、低温の河川水の影響をより大きく受けるため、日射が樹幹遮断されるためだと考えられる。変動幅が小さい要因はマングロープ域では鉛直方向に水温が均質化されやすいためであると考えられる。すなわち、干潟域では淡水と海水の密度差によって温度躍層が形成され、観測面が躍層を前後する際に急激な水温変動を生じる。一方、マングロープ域では複雑な流動場が生じるため鉛直混合が促進され、躍層の崩壊、水温の均質化が生じ、結果、潮位の変化による水温変化が緩和されていると考えられる。マングロープ域の持つ冷却

作用については、夏季において満潮時にマングローブ林内(スオンプ)に氾濫する海水が地盤面への熱輸送により冷却されることを示した二瓶ら¹⁰⁾¹¹⁾の研究がある。本研究による調査ではスオンプ内に観測点を設けなかったため、このような現象を直接確認できなかったが、マングローブ域の水温が比較的低温に保たれていた要因となっている可能性がある。

3) 干潟域の水温変動(河内川)

図-3 b) に河内川河口干潟域の水温変動を示す。観測期間中の水温の平均値で 19.5℃であった。変動に関しては明確な周期性は確認されず、24 時間でほとんど水温が変化しない場合も見られた(日較差で 3.3℃)。観測期間のほとんどの時間で干潟域の水温と海水温が一致していた。このことから河内川河口域は海水の流入を直接的に受けていると考えられる。水温が低下するのは夜間に潮位が低下したときや降雨のあった場合などに限定されており、このような時は海水と河川水の混合が発生しやすいため、水温が低下するものと考えられる。

4) 水温の平面分布の時系列変化

図-4 に 2008 年 2 月 8 日における役勝川河口域と河内川河口域の 1:20, 7:50, 12:00, 13:30, 19:20 における底層水温平面分布図を示す。尚、干出していると考えられる地点の水温は表示していない。2/8 は大潮にあたり一日の潮位差は 204cm であり、潮時は干潮が 1:16, 13:29, 満潮が 7:47, 19:18 であった。2/8 における水温変動は、朝の満潮時(7:50 頃)、干出直前(12:00 頃)、夜間の満潮時(19:20 頃)の 3 回目の水温ピークを迎えた。これを見ると、1:20 には多くの地点で干出しており、冠水している地点では低水温域が形成されていることが分かる。7:50 では河内川では全ての観測地点で 20℃を上回っているのに対し、役勝川では観測地点の半数程度で 19℃以下の低水温域が見られる。12:00 では、河内川、役勝川共に高水温域が発生しているものの、役勝川ではクレーク奥部などに低水温域が散見される。以降、13:30, 19:20 においても役勝川には好適水温域が散見される一方で、河内川では 20℃以上の高水温が維持されていた。

5) 役勝川河口域と河内川河口域の比較

リュウキュウアユの生息場としての観点から両河川の干潟域における水温変動を比較する。役勝川・住用川河口干潟域の水温は生息限界と考えられる 20℃を超えることはまれであるが、河内川河口干潟域は観測期間のほとんどで 20℃を超えていた。変動幅についても日較差平均で約 4.1℃の差があり、河内川河口干潟域では一日中水温が低下しない日が存在するなど、変動はほとんど見られなかった。従って、河内川河口域は役勝川河口域と比較し、リュウキュウアユの生息環境として良好ではないと推察される。

この要因を考察すると、まず、河川河口域に流入する河川流量の差が挙げられる。流域面積比から役勝川河口

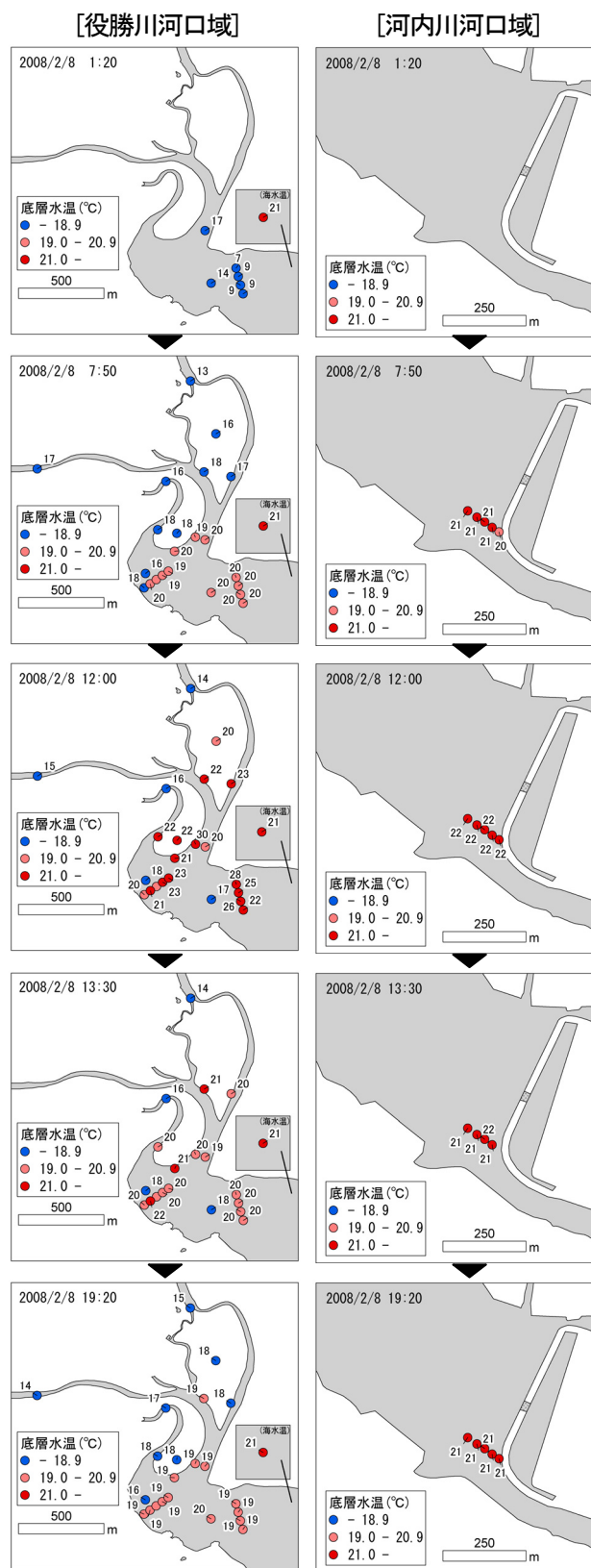


図-4 大潮時における底層水温平面分布の時間変化

域への流入流量は河内川のそれの約 2.4 倍であると考えられる。低温の河川水の影響がより広範囲に及ぶ結果、役勝川河口域では好適水温が形成されやすいと考えることができる。しかし、河内川河口域では河道に隣接した地点で観測を行ったにも関わらず、良好な水温環境が観

測されなかったことから、両河口域の水温分布の差を流量差のみで評価するのは難しく、河川水と海水の混合状況と合わせて考察する必要がある。そこで両者の地形形状に着目すると、役勝川河口域は干潟や蛇行した滞筋やマングローブなど混合を促進する地形要素を豊富に備えているのに対し、河内川は河道が河口まで直線化されている。そのため河内川の河川水のほとんどは干潟域を経由することなく焼内湾に流出すると考えられる。また、干潟域における放射冷却の促進や日射を遮断するマングローブの機能が認められていることから、これらの領域の差も両者の環境の差に影響していると考えられる。

4. 結論

本研究は奄美大島役勝川とその支川の住用川及び河内川を対象に、冬季において干潟マングローブ域が発揮すると考えられる水域冷却効果について検討するために現地観測を行ったものである。以下に得られた知見をまとめる。

① 役勝川、住用川、河内川の感潮域直上の瀬(リュウキュウアユの産卵場)における河川水温を観測、比較したところ、3河川とも気温との正の相関関係が認められ、住用川の水温が他の2河川と比較し水温が低かった。しかし、河口域の水温変動と比較しごく小さな水温差であったため、河口域の水温環境に直接的な影響を及ぼさないと考えられた。むしろ河口に流入する河川流量に大きな差があるため、河口域の水温変動を議論するには流量を十分に比較する必要があることが分かった。

② 役勝川河口域に流入する河川水温と海水温を観測、比較したところ、観測期間中の海水温は平均 20.2℃で昼夜や他の環境条件にほとんど影響されずほぼ一定だった。それに対し河川水温は平均 13.7℃と低かった。河川水の影響を受けず、海水の影響を直接的に受ける水域はリュウキュウアユの生息に不適であると考えられる。

③ 役勝川河口域における水温の多点連続観測の結果から、干潟域の水温は1日で平均水温差 10.9℃と大きく変動しており、変動は主に潮位と対応していた。この他に、夜間の干潮時における急激な水温低下、好天時の日中の干潮時における急激な水温上昇が確認され、これらは水深がごく浅くなるという干潟域の特性がもたらす効果であると推察された。また、マングローブ域にはこれらの急激な温度上昇を緩和する効果があることが推察された。

④ 河内川河口域における水温の多点連続観測の結果から、河内川河口域は海水の直接的影響を受けており、水温が 20℃前後で高止まりしていることが分かった。水温の低下する条件として降雨が挙げられることから、海水と河川水の混合が水温を良好に保つ上で重要であることが間接的に理解できた。

⑤ 役勝川、河内川両河川の大潮時における水温の平面

分布を比較したところ、役勝川では水温上昇期においても好適水温域が散見されるのに対し、河内川では全く見られなかった。

⑥ 両河川河口域の比較から役勝川河口域の水温環境の方がリュウキュウアユの生息に良好であることが推察された。このような環境の差が生じた要因として流入する河川流量の差が挙げられるものの、地形形状の差による河川水と海水の混合程度を考慮しなければ十分な評価は難しいことが分かった。この他に干潟やマングローブによって河川水を介さず水塊が冷却される現象も発生するため、両河口域の水温分布を十分に評価するためには、流動観測や熱収支観測を含めた総合的な評価が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 岸野 底, 四宮明彦: 奄美大島役勝川および河内川におけるリュウキュウアユの孵化時期と体サイズ, 魚類学雑誌, 第51巻, pp.149-156, 2004
- 2) 岸野 底, 四宮明彦: 奄美大島の役勝川におけるリュウキュウアユの遡上生態, 日本水産学会誌, 第69巻, pp.624-631, 2003
- 3) 岸野 底, 四宮明彦: 奄美大島住用湾および焼内湾周辺におけるリュウキュウアユ仔稚魚の回帰遡上, 魚類学雑誌, 第52巻, pp.115-124, 2005
- 4) 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, 第55巻, pp.1-8, 2008
- 5) 気象庁, 気象庁海洋の健康診断表, <http://www.data.kishou.go.jp/shindan/index.html>, 2008
- 6) 水鳥雅文, 角湯正剛, 曾我雅海: 干潟の発達する浅海域の自然温分布の形成機構とその予測, 電力土木, 第198巻, pp.10-19, 1986
- 7) 内山雄介, 灘岡和夫, 瀬崎智之, 八木 宏: 東京湾奥極浅海域における成層期の水環境特性, 土木学会論文集, No.593 / II-43-II巻, pp.125-144, 1998
- 8) 内山雄介, 灘岡和夫, 堀川誠司: 砂浜と干潟の比較による湾奥部極浅海域の水環境特性に関する研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.1051-1055, 1998
- 9) 松田義弘: マングローブ水域の物理過程と環境形成—自然の保護と利用の基盤—, 黒船出版, pp.1-103
- 10) 二瓶泰雄, 網島康雄, 佐藤正也, 青木康哲, 佐藤慶太, 灘岡和夫: 現地観測に基づくマングローブ域の水温・放射環境に関する研究, 海岸工学論文集, 第49巻, pp.1206-1210, 2002
- 11) 二瓶泰雄, 灘岡和夫, 青木康哲, 若木研水, 矢井秀明, 大身謝辰男, 古川恵太, 佐藤慶太: マングローブ水域における流動・熱・水質環境特性に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.1211-1215, 2001

(2008.9.30 受付)