

夏季成層期における沖縄本島源河海域の 流れおよび水質特性

SEA CURRENT AND WATER QUALITY IN SUMMER SEASON
IN GENKA BAY OF OKINAWA

久高隆太郎¹・小野原正文²・Rouf Muhammad³・
LiLian Kotler³・新見直己⁴・仲座栄三⁵

¹琉球大学大学院博士前期課程 環境建設工学専攻 (〒903-0213 沖縄県西原町千原1番地)

²正会員 修(工) 株式会社国建(〒900-0015 沖縄県那覇市久茂地1丁目2番20号)

³琉球大学大学院博士後期課程 環境建設工学専攻 (〒903-0213 沖縄県西原町千原1番地)

⁴株式会社新和建設(〒481-0042 愛知県北名古屋市野崎山神15番地)

⁵正会員 工博 琉球大学教授 工学部 (〒903-0213 沖縄県西原町千原1番地)

To ensure the sustainable development of coastal areas, the Integrated Coastal Area Management (ICAM) approach has been required. The development of efficient management plans of complex ecosystems subject to significant human pressure cannot occur with the absence of science. For the development of the ICAM of Genka sea where is well known as the habitat area of Ryukyu sweet fish, a comprehensive observation of sea currents and water quality has been conducted. From the results of the observation in the summer season, characteristic currents of internal tide and water quality distributions are discussed.

Key Words: *current, tide, internal tide, Ryukyu ayu, Ryukyu sweet fish, coral, Okinawa, chlorophyll-a*

1. はじめに

1980年代後半にリュウキュウアユを蘇生させる試みが始められ、ダム湖を利用した蘇生活動、いわゆる陸封化による蘇生に成功している。自然河川と自然海岸とを対象とした蘇生に対しては、沖縄本島北部の源河川が選択され、数年にわたって蘇生の試みが実施されたものの未だ困難を極めているのが実情となっている。

立原¹⁾は、そのような状況であっても源河川河口南岸に位置する羽地内海側に流された稚魚は発育し河川遡上が確かめられたことを報告し、羽地内海を含めた源河沿岸域の流れ特性の解明を急ぐ必要性を指摘している。

沖縄本島西北部に位置する源河川河口域を中心とする海域は、リュウキュウアユの生息環境の南限としての特殊性を持つだけでなく、サンゴ礁性魚類に

対する海洋保護区が設定されるなど、将来にわたり持続的な保全が望まれている。こうした海域の生態系蘇生および保全には、海域のみでなく、海域を包括する陸域の山頂から森林、河川を経て、沿岸部までを統合的に管理する統合沿岸管理の必要性が指摘されている。

本論は、統合沿岸管理に資することを目的に実施された総合的な調査研究の成果に基づき、特に内部潮汐の存在に注目し、夏季成層期の流れおよび水質特性について明らかにするものである。内部潮汐の存在に特に注目する理由は、夏季の異常水温上昇によるサンゴの白化現象に対して、内部潮汐の伝播に伴う冷水塊の輸送と拡散、さらにそれが引き起こす沿岸湧昇および沈降などがサンゴ礁内海域の水温上昇緩和に寄与しているのではないかとする推測によるものである。

2. 現地観測位置および方法

図-1に、沖縄本島および周辺海域の海底地形形状を示す。また、図-2に、源河川河口およびその沿岸を中心とする海域の航空写真を示す。大局的に調査対象海域を見ると、図-1に示すように、源河沖海域は沖縄本島北部の最北端である辺戸岬から本部半島先端部まで続く開放的な湾の奥部に位置する。

さらに、源河川河口域を中心とする海域に目を向けると、前述の大局的な湾にさらに図-2に示すような辺土名赤丸崎から今帰仁にかけて古宇利島や屋我地島を取り囲み、その沿岸部の殆どがサンゴ礁からなる1つの湾が見出される。本調査の対象としたのはこの源河川沖を中心とする海域である。

図-3に、源河海域に流入する主要な河川位置および海底地形を示す。図に示すように、対象海域には多数の河川から河川水が流れ込み、それらが湾奥部に滞留しているものと想定される。

図-3に○印で示す位置は、流速の観測位置である。流速の観測には、超音波流速計 (St.1 and St.4 : ADCP300kHz ; St.2 : ADP500kHz ; St.3 : ADCP-WAVE600kHz) が用いられた。源河河口周辺の浅海域については、ADCP1200kHzを用い、船舶を用いて曳航観測を行った。

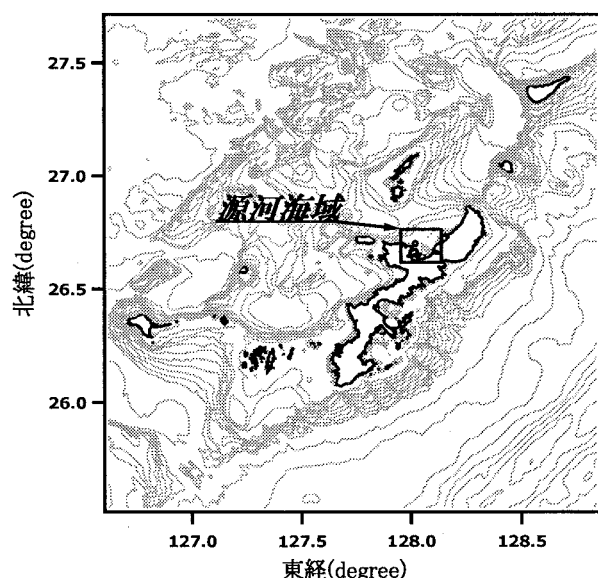


図-1 海底地形形状

St.1～4においては、図-4に示すように、ブイによる係留方式で測定器を海底に固定し、水深方向に2m間隔の層で10分毎に平均流速を計測した。St.3の位置における波高観測については、1時間毎に20分間の観測とした。

水質の観測は、基本的に流速の固定観測地点および河口周辺で行った。測定では水温、塩分、クロロフィル-a および濁度を水深方向に測定すると共に、

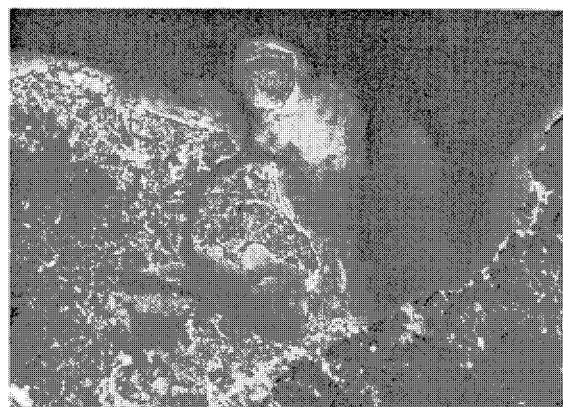


図-2 源河海域の航空写真

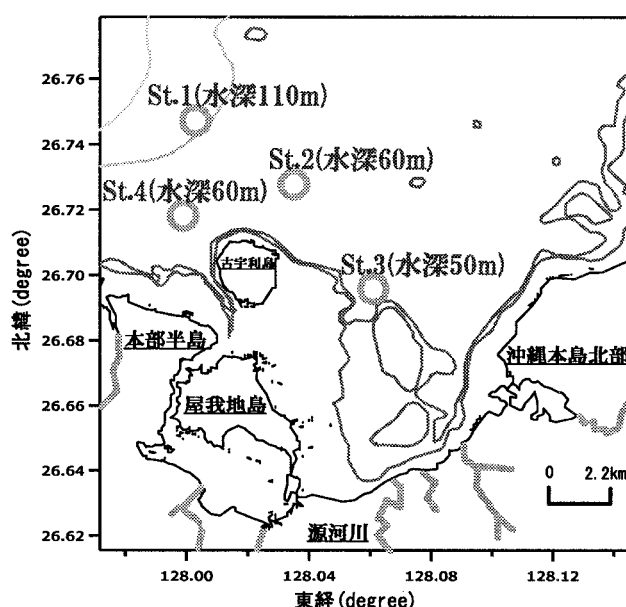


図-3 観測地点及び河川位置

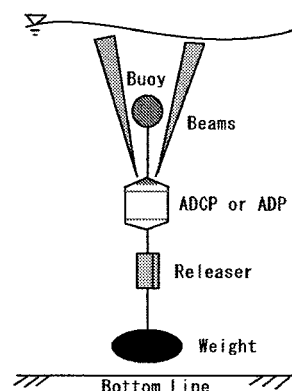


図-4 観測機器設置方法

採水器を用いて、それぞれの地点における表層、中層（水深の中間地点）、底層の採水を行った。

観測は、2007年9月28日から12月6日までの約2ヶ月間に亘って行われた。

3. 観測結果および考察

3.1 流速の長周期変動

図-5に源河川近くの名護気象台で得られた風向風速の経時変化を示す。図に示すように、気温は10月11日付近を境に北よりの季節風の影響を受け一様に低下している。一方、観測初期から10月11日まで

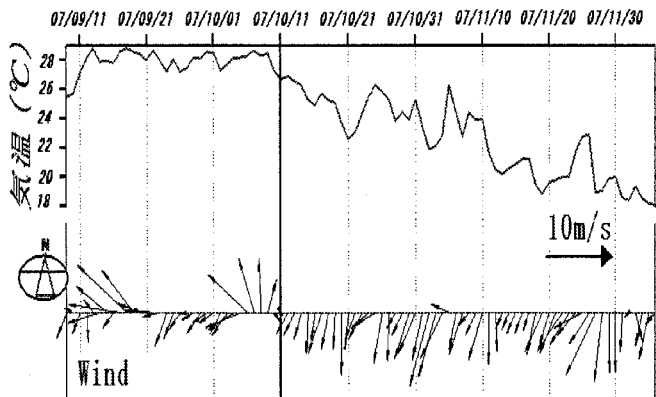


図-5 気温と風速ベクトル (名護気象台)

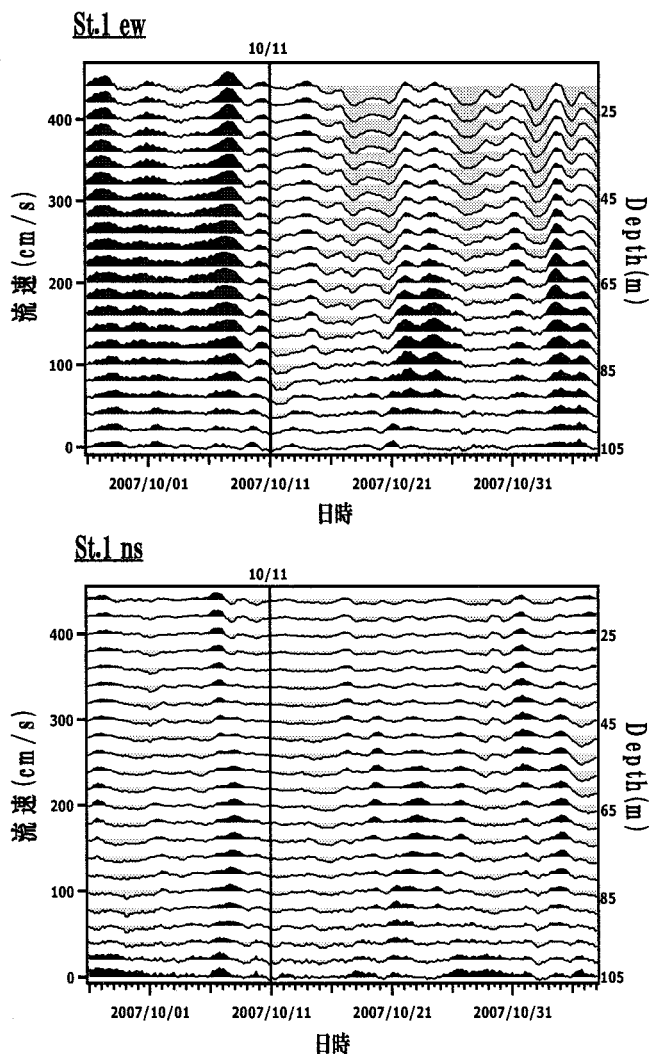


図-6 25時間移動平均流

の気温はほぼ約28℃の一定温度を示している。その間、風速は北よりの風と南よりの風とを1週間程度の周期で繰り返し変動している。

観測点St.1で得られた流速に25時間移動平均操作を施し、日周潮以下の周期成分を持つ潮流成分を出来るだけ取り除いて得られた流速の長周期振動波形を図-6に示す。流速データは、海底面上3m付近から水表面下約20mまでを8m間隔で表示してある。図中、東向き流れおよび北向き流れを正值で表してある。図-6は、流れが南北方向に殆どなく、東西方向の流れとなっていることを示している。10月11日以降の東西流速成分は、北からの季節風の吹き込みに対応する形でそれまでの東向き流れから西向きに転じている。しかし、風によって引き起こされた吹送流は表層から中層までで、底層では沿岸湧昇を補うために引き起こされたと判断される岸向き（東向き）の流れが表層流に遅れて出現している。

3.2 順圧成分流速

次に各観測点で得られた流速のデータを、それぞれの観測地点で水深方向に平均して求めた水深方向平均流速の分布を図-7に示す。こうして求められる水深方向平均流速は、通常、順圧流とみなされる。図-7には、満潮時および干潮時に対応する流速ベクトルが示されている。図示のとおり、順圧流れはいずれの観測点でもほぼ東西方向に主軸を持つ流れとなっている。

9月28日11時半に観測点St.1で得られた水温および密度 σ_t の水深方向分布を図-8に示す。図には、水深70m付近から水温および密度の明瞭な躍層が見られる。海底面と表層付近との水温差は6℃にも達し、海底面付近に見られる水温23℃は冬場の海表面温度に匹敵する。

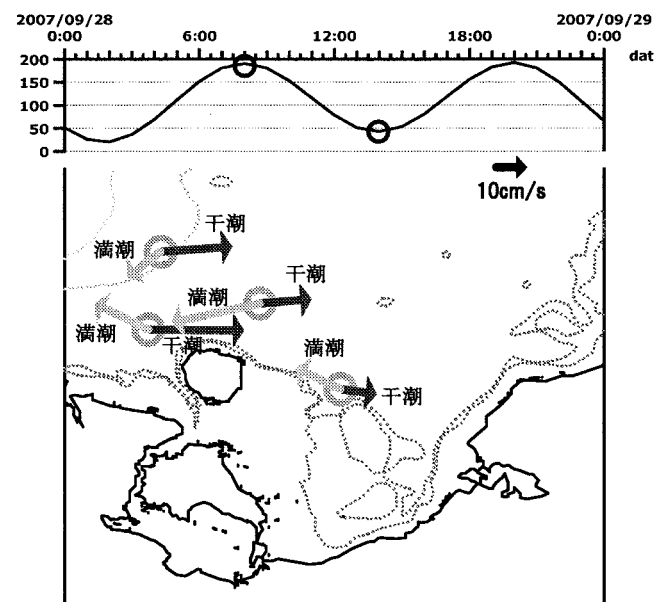


図-7 順圧流

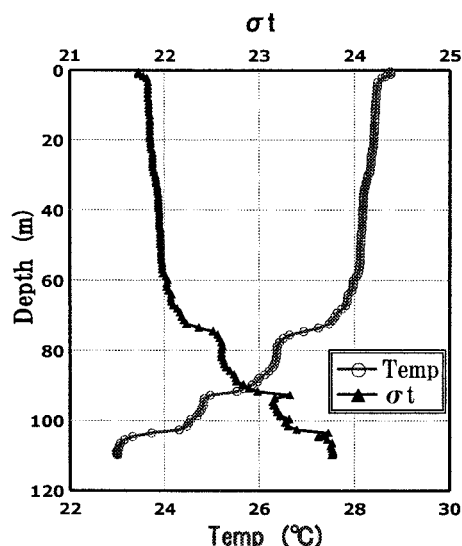


図-8 密度 (σ_t) と水温の鉛直分布 (St. 1)

3.3 傾圧成分流速

流速データより傾圧流成分を取り除き得られる傾圧流成分を、St. 1 からSt. 3を結ぶ線上で図-9に示す。図は満潮時および干潮時付近の流れを示している。

まず、東西流速成分を見てみると、流れは温度躍層の上層と下層とで逆方向の流れとなることを示している。また、海底面付近の流れは満潮時に東向き（岸向き）であり、沖の影響がSt. 1およびSt. 2を経て観測点St. 3の位置までも及んでいることを示している。逆に、海底面の流れは干潮時に沖向きとなっている。いずれの時間帯においても、流速は海底面付近で最大の流速が発生することを示している。

一方、南北流速成分を見てみると、水深方向に内部波の2次あるいは3次の振動モードを示し、底面付近の流れは満潮時に北流、干潮時に南流となることを示している。

観測点St. 3付近は、サンゴ礁の礁縁付近に当たり、最もサンゴが生育する場所である。図-9に示す観測結果は、この海域のサンゴ礁を取り巻く流れに、内部波が影響を及ぼすものであることを示している。

3.4 クロロフィル-aと水温の分布

図-10に、観点St. 1~St. 3、さらにそれらの中間点で得られた水温およびクロロフィル-a濃度の水深方向分布を示す。最も沖側の観測点St. 1で得られたクロロフィル-aの濃度分布は、下げ潮時において水深80m付近の温度躍層位置で最大値を示している。観測点St. 1とSt. 2との中間点、さらにSt. 2においても、クロロフィル-aの濃度分布は、温度躍層が始まる水深付近が高く、水温が25-26°Cとなる水深付近で最大値を示している。最も岸側にあり、かつサンゴ礁内にある観測点St. 3では、水温分布は水深方向にほぼ一様であるが、わずかに底層ほど低くなっている。クロロフィル-aの濃度分布は、底面ほ

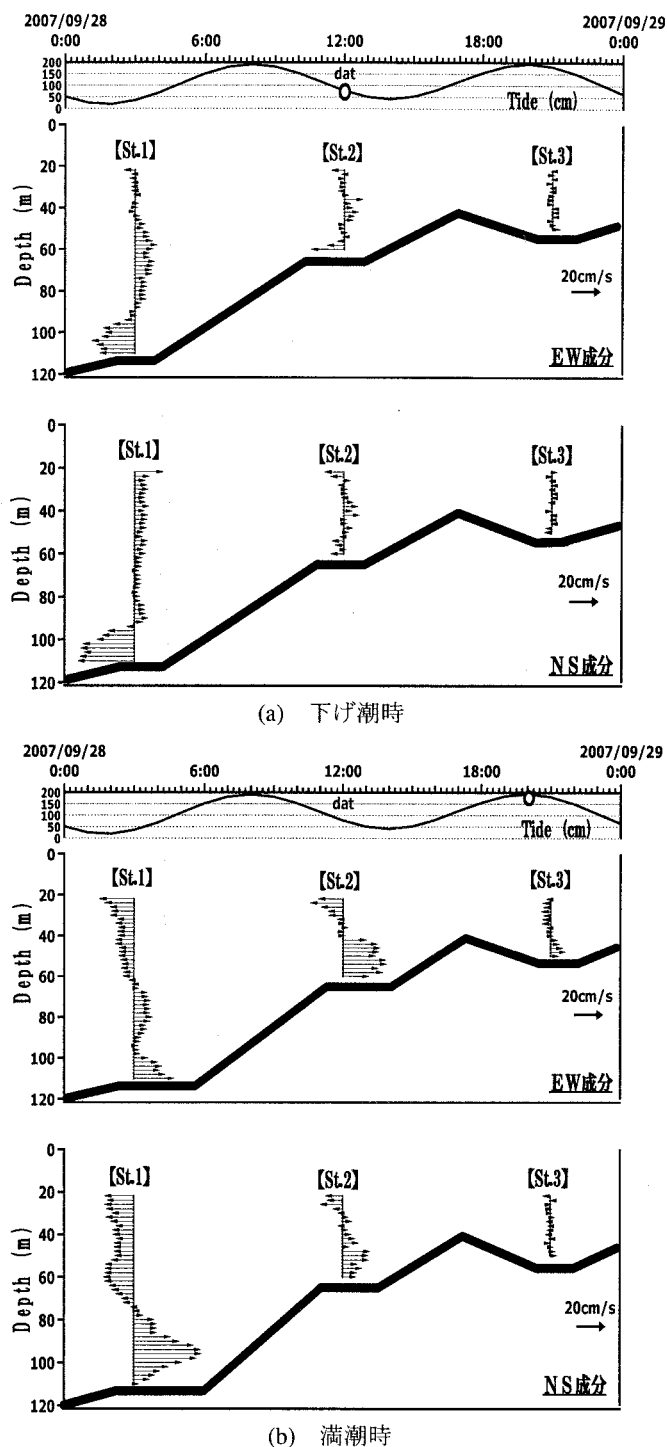


図-9 傾圧流

ど高い値を示している。

クロロフィル-a濃度は一般に光合成植物プランクトンの濃度に比例するため、普通に考えると、水中光度分布から、クロロフィル-aの濃度分布は表層ほど高い値を示すはずであるが、底面あるいは水温25-26°Cとなる水深付近で最大値を示している。このことは、植物プランクトンの繁殖に対し水温25-26°C付近が最も良い環境となっていることを示唆ものと言える。

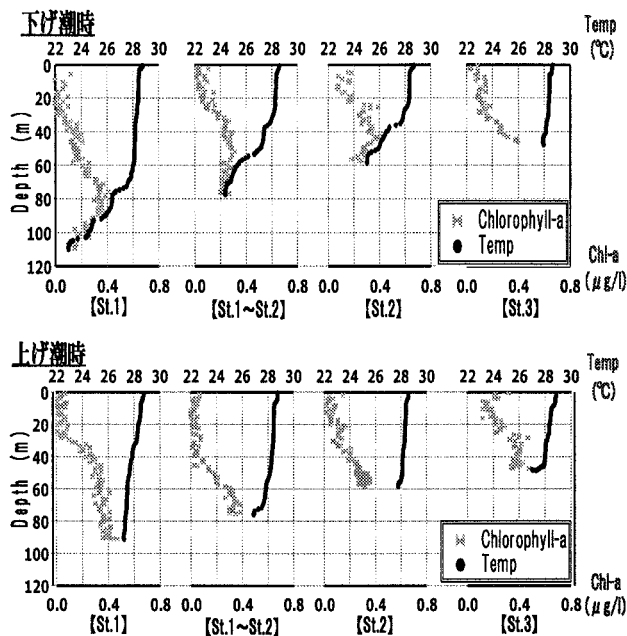


図-10 水温とクロロフィル-aの鉛直分布

上げ潮時に得られた水温およびクロロフィル-a濃度の分布は、沖側であっても海底面付近で高くなる傾向を示している。この時、水温の鉛直分布はどの観測地点においてもほぼ様な分布を示し、下げ潮時に見られた底面付近の冷水塊がすでに沖側に退却した後の状態にあり、沿岸部では上層の暖水がほぼ全水深を占める状態となっているものと判断される。したがって、沖側観測点における底面付近のクロロフィル-a濃度の増加は、岸側から高濃度のクロロフィル-aが輸送されてきたものによると判断される。

山本ら³⁾ (2002)、山本・佐伯⁴⁾ (2004) は、野見湾の流れと水質の観測結果から、成層が発達する夏期においては、内部潮汐の作用により、湾内の海水交換が高まり水質が改善されることを示している。また、成層が消滅する秋季から冬季にかけては内部波が存在せず「水止まり現象」が発生し、それが水質悪化の一要因であることを報告している。

夏季に温度躍層が形成されると表層では日射の影響により日々温度が上昇するはずであるが、当海域の表層水の水温は、28℃程度と一定温度を保ったままである。このことは、内部潮汐に伴う冷水塊の沿岸部への進入が表層水との混合をもたらし、表層温の上昇を緩和する作用によるものと推測される。

サンゴ礁海域においては、海水温の上昇が起因となりサンゴの白化現象を引き起こすとされている。図-10に見るクロロフィル-aの濃度分布が示すように、植物プランクトンの生息は表層部の暖水塊を避けるように温度躍層付近に集中している。その様はサンゴ内の褐虫藻が高温環境を嫌い共生サンゴから抜け出る様を想像させる。内部波に伴う底層冷水塊の沿岸部への進入は、沿岸部の水温上昇緩和に寄与

している可能性を示すものであり、今後内部波の存在とサンゴの生育の健全度との関連を明らかにすることが求められる。

4. おわりに

本研究で得られた主要な成果を以下に列挙する。

- 1) 夏季に得られた水温の鉛直分布から明瞭な温度躍層の存在が見出された。
- 2) 流れのデータより順圧成分を仮定して得られた潮流は、全観測点でほぼ東西方向の往復流を示した。
- 3) 流れの傾圧成分より、内部潮汐の存在が明らかにされ、その影響がサンゴの生息域にまで及ぶことが示された。
- 4) 水温の鉛直分布より、内部潮汐の伝播に伴い、サンゴ礁内に深海の冷水塊が進入していることが示された。
- 5) 水温およびクロロフィル-aの鉛直分布より、光合成性プランクトンの繁殖が水温25-26℃付近となる水深に集中していることが明らかにされた。

源河川において、リュウキュウアユは、1980年代に絶滅したと言われる。その後、蘇生活動が試みられたものの未だ成功していない。その主因は明らかなでないが、沿岸部の海水温の上昇、沿岸部の埋め立て、河川改修による汽水域の大幅な変化などの影響が危惧される。本研究により、源河海域の流れの大局的な理解は幾分進んだと言える。今後、さらに沿岸部と汽水域の流れ特性および水質特性の解明を行い、リュウキュウアユ生息環境を明らかにする予定である。

謝辞：本研究は、亜熱帯総合研究所および沖縄県科学技術振興課の助成金「沿岸の防災および環境保全システムの構築に資する研究（研究代表：仲座栄三）」の援助を受けている。また、本研究を実施するに当たり、財）亜熱帯総合研究所、沖縄県科学技術振興課、琉球大学工学部環境工学科の赤松良久準教授、沖縄県土木建築部技師玉城幸治、瑠璃丸船長山城建、株式会社SEAの下田力をはじめとするスタッフの方々には多大なご協力およびご指導を得た。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 立原一憲：沖縄の河川の特徴と魚類の生活史，第74回バイオフィット研究会，15p.，2006。
- 2) 宇野木早苗：沿岸の海洋物理，672p.，1993。
- 3) 山本潤・中山哲蔵・時吉学・宮地健司：野見湾における夏期の流況と水質変動に関する現地観測，海岸工学論文集，第49巻，pp. 1086-1090，2002。
- 4) 山本潤・佐伯信哉：野見湾での初夏の流況と水質変動及び赤潮発生を捉える現地観測，海岸工学論文集，第51巻，pp. 951-955，2004。