

## 四万十川河口域の魅力を語る ～稚魚とノリをはぐくむ汽水域～

株式会社 西日本科学技術研究所  
東 健作・和 吾郎

### はじめに

西日本科学技術研究所の東と申します。今日は前半（東）と後半（和）で分担して話をさせていただきます。私の方からは、次の3つのことをお話しさせていただきます。よろしくお祈りいたします。

1. 稚魚を育てるアマモ場のこと
2. 河口域で育つアユのこと
3. 伝統漁法と川の恵み

本題に入る前に、四万十川が生んだ稀代の川漁師である故・山崎 武さんの著書「大河のほとりにて」（原題）をご紹介します。ご本人が「私の職場は日本一である」と書かれた時代（1980年代以前）の四万十川（特に河口域）がいかに豊かであったかは、著書の中で克明に描かれています。その後、1980年代になって自然の多く残る四万十川河口域で、アカメやアユなどの稚魚研究やコアマモ等の多くの研究が行われました。それらは2冊の学術雑誌（「海洋と生物」155～156号）にまとめられました。ここには、河口域の生態系を知る上で貴重な知見がたくさん詰まっていますので、今日もこうした研究例をご紹介します。さて、広大な汽水域が広がる四万十川河口域の地形を簡単にまとめると、大きく二つの特徴があるかと思えます。一つは河口内に水深10m以上の深い場所があって、海水が滞留しやすいこと、もう一つは河口部が深く河川勾配が緩いため、海水が進入しやすいということです。河口域の範囲はきちんと決めるのが難しいのですが、今日はとりあえず河口から山路付近までの範囲（アオノリの漁場）としておきたいと思えます。

### 稚魚を育てるアマモ場のこと

地元のみなさんは、河口近くの川岸の浅場に水草が点々と茂っているのをご覧になられたことがあるかと思えます。これはコアマモと呼ばれる種子植物で、種子と地下茎によって生育場所を広げます。コアマモの分布を調べた田井野さん（2004）によると、間崎（大島との水道部）と竹島川に大きな群落があることが分かっています。コアマモは、河口から4 km 上流（特に1～2 km）までの範囲に分布していて、本流沿いの流れが強くとどるところにはあまり生育しません。ワンドや入り江、中洲の周辺など緩流部に



多くみられます（田井野、2004）。断面で見ますと、潮間帯（満潮時の水面と干潮時の水面の間）の下部からやや深いところに生えています。生育場所の環境によって、形もかなり変化して、泥底の深い場所には草丈の長いコアマモがみられますが、砂利混じりの浅い場所では草丈は短くなります。季節的にも変化が大きく、夏から初秋にかけて伸長し、冬季は衰退します。特に干出するような浅場に生えていたコアマモはほとんど消失します。

コアマモの群落（以下、アマモ場）での学術上大きな発見として、日本固有の希少魚であるアカメの稚魚が世界で初めて発見されたことを強調しておきたいと思えます。1985年のことです。発見に至る紆余曲折やエピソードについては、「稚魚の自然史」（千田・南・木下編著）の中で、高知大学の木下先生がリアルに描写されています（木下、2001）。興味のある方はご一読ください。この研究によって、アカメは1才魚ぐらいまではアマモ場に強く依存して住み着いていることが明らかにされました。



河口域を利用する稚魚はアカメに限らず多くいます。それらの種類数や個体数は季節的に変化し、種類数、個体数ともに夏場に豊富であることが分かっています（藤田、2005）。一方、冬場は種類数が少なくなりますが個体数は増えます（藤田、2005）。これは冬場に出現するアユやスズキの稚魚など少数種がたくさん採れることを反映しています。さらに、藤田さん（2005）によると、多くの種が季節的に出現交代しながら河口域を利用しており、1年間の調査で42科100種以上の稚魚が確認されています。この事実だけをとっても河口域の魚類が多様であることが窺えます。なお、稚魚の住処としてアマモ場を強調しましたが、無植生の砂泥底は多くのハゼ科魚類が利用していることも知られています（岩田、2005）。ハゼ科魚類の研究で著名な京都大学の岩田先生は、「ハゼ類の生物多様性という点においても、四万十川河口域は生物多様性のホットスポットの一つとっていい（岩田、2005）」と述べられています。

### 河口域で育つアユのこと

次に四万十川の重要な水産資源でもあるアユのことに触れたいと思えます。アユという魚は前半生（稚魚の時代）を海で過ごす回遊魚なのですが、四万十川の場合、海に出ないで河口域で過ごす個体群がいることが知られています（高橋、2009）。最近、高知大学の木下先生を中心とする研究グループは、四万十川で生まれたアユの子は、県下の主要河川と違って海にはあまり出ず、結果として母川への回帰率が高くなることを

明らかにしています (涌井ら 2009)。また、四万十川に限らず、沿岸域を含めて低塩分な環境はアユの初期成育場として重要であることを多くの研究者が指摘しています (海洋と生物 183~184 号)。河口域に留まって成長することの意義として、成長や餌環境、捕食される危険性、川への遡上などの面で有利なのではないかと考えられています (高橋, 2009)。



四万十市では、地域の産業資源としての河口域の重要性を鑑みて、2008 年度から国の補助を受けて、高知大学と連携したアオノリやアユの共同調査をスタートさせました。ここでは私が主体的に関わったアユ稚魚の共同調査の結果をご紹介します。アユ稚魚の採集は、2008-2009 年度のそれぞれ 11-3 月に毎月 1 回小型曳網を使って行いました。2 ヶ年の採集量を比べると、両年とも 12 月にピークとなり、河口から 2km ほど上流の本流沿いと竹島川と鍋島川の合流点付近の 2 箇所では採集量が多い結果となりました。特に興味を持たれるのは、上流にアユの産卵場がない竹島川で安定してアユが採集されたことです。この事実から、四万十川を流下したアユの子がおそらくは受動的に竹島川に進入して定着したことが想像できます。さらに言えば、いったん海に出たアユもかなり早い段階で河口域に進入するものが多い可能性があると思われます。次に、四万十川の産卵場でふ化した時期と河口域で育った稚魚のふ化時期を比べてみました。そうすると、2008 年度はほぼ両者が重なったのですが、2009 年度は早期 (11 月) に産卵場でふ化したものがほとんど河口域では採集されないという結果となりました。11 月にふ化した個体群が河口域から姿を消した理由は不明ですが、2009 年度の稚魚の成長を過去の調査例と比べてみると、河口域から消えた早期群 (11 月生まれ) の成長が非常に悪かったことが分かりました。アユの資源変動に関して、初期の生き残りが資源を大きく左右することが最近の研究で明らかとなってきました (原田ら 2009)。原田さんら (2009) は初期成長が良い年には翌年の資源が好調であることを指摘しています。アユの場合、早く生まれた個体ほど成長が良いことが知られていますので (塚本, 1988)、早期発生群の生き残りが翌年の資源にとって重要だと言えます。

アユ稚魚の餌は動物プランクトンなのですが、高知大学の上田先生の研究室では砂洲崩壊前後における河口域の動物プランクトン相を周年にわたって調査されました。この研究結果によると、砂洲の消失前後で内湾性種が増減するなど、動物プランクトン相が大きく変化したことが示されています (坂口ら 2009)。

## 伝統漁法と川の恵み

ここまで稚魚やアユの住処としての河口域の重要性を紹介してきました。私にとって四万十川の魅力とは、ここに住んでいる方々が四万十川の恵みを楽しんでいること、すなわち自然と人との共生が今なお色濃く残されていることにあります。四万十川河口域では現在も四季を通じて様々な伝統漁法が行われ、川漁で生計を立てておられる方もいらっしゃいます。このことこそが、生物多様性に支えられた河口域の生物生産の豊かさを示しています。自然の恵みは今日的には生態系サービスの一つといわれ、良好な自然環境が失われると享受できなくなります。



冒頭で紹介した山崎武さんの著書によると、1979 年のアオノリ収穫量は約 52 トンであったと書かれています。わずか 30 年ばかり前のことです。河口域の恵みを守り、享受してゆくためには、基礎的な調査研究を継続して、科学的かつ客観的なデータに基づいて現象や変化を分析することが大切です。ご静聴有難うございました (文責 東)。

## 藻類の生長に必要な栄養分 (塩) とは？

西日本科学技術研究所の和と申します。私の方からはスジアオノリ (以降、アオノリ) の生育と水中の栄養分 (塩) との関係について話をさせていただきます。よろしくお願ひします。

一般に植物 (樹木や農作物、植物プランクトンや大型海藻類など) の生育に必要とされる物質のうち、農作物などの肥料として良く知られているのが 3 大栄養素と言われる窒素 (N)、リン (P)、カリウム (K) です。ただし、カリウムについてはもともと海水中に多く含まれているため、水中での濃度変化はアオノリのような大型海藻類の生長や植物プランクトンの増殖を左右するものではありません。したがって、本日は窒素とリンに焦点を当て、話しを進めたいと思います。

## 四万十川の栄養塩濃度はどのくらいか？

四万十川汽水域の水は、不入山を源とし支川や沢水などを集めながら下流まで流れる河川水と、黒潮の強い影響下にある土佐湾の海水が混合したものです。はじめに、四万十川の栄養塩 (窒素、リンのうち植物プランクトンや大型海藻類が直接取り込むことができる形態のもので  $\text{NO}_3+\text{NO}_2$  や  $\text{PO}_4$ ) 濃度が、源流から下流までどのように変化して河口に辿り着くのか、またその濃度はどれくらいなのかについて述べます。



四万十川源流の不入山における窒素やリンの栄養塩

(NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>、PO<sub>4</sub>)濃度は、それほど高い値ではありません。窪川の市街地、農地を通過したときに濃度が上昇し、梶原川の合流後に低下、そして、広見川合流後にわずかに上昇し、下流の四万十市に流れていきます。このように四万十川の窒素やリン濃度は、流域の様々な影響を受けて変化し、人為的影響が強い場所で濃度が上昇する傾向を示しました(和、2004)。

次に、下流部の赤鉄橋付近における窒素(NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>)とリン(PO<sub>4</sub>)濃度について、仁淀川下流部、物部川下流部の濃度と比べると(3河川とも2005年1月から2006年12月までの同時期に調査)、四万十川は仁淀川や物部川に比べて窒素やリン濃度が低く、特にリン濃度が低いということが分かりました(和、2008及び和未発表データ)。これら3河川下流部の値を50年前の値と比べると(小林、1960)、仁淀川と物部川の窒素とリン濃度は50年前よりも高濃度となっており、一方、四万十川はそれほど大きな変化を示していません。個人的な意見を述べると、四万十川でも20~30年前ぐらいには窒素、リン濃度が上昇し、その後、減少して現在の水準になったのではないかと考えています。その背景には、全国的な河川の窒素・リン削減対策に加えて四万十川独自の水質浄化対策を行ってきたことや、農業人口、農業形態の変化が関係していると考えています。結論的には、現在の四万十川の窒素とリンの水準は低く、人為的影響が比較的少ない典型的な森林地帯を流れる河川の特徴を示していると言えます。

そのほか、河川の付着藻類(アユの餌でコケやアカと呼ばれる)の生育状態も水中の窒素(NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>)とリン(PO<sub>4</sub>)濃度に関わっている状況も確認でき、活発な藻類生産が行われている時は藻類が窒素やリンを多く摂取するため、濃度が低くなる傾向を示しました。



### 土佐湾西部海域の栄養塩の分布は？

四万十川が注ぎ込む土佐湾西部海域の栄養塩の分布について、季節的な変化を中心に述べたいと思います。

四万十川からの土佐湾への栄養塩の供給量(濃度に流量を乗じた値)は、出水が多くなる5~9月に増加するのに対し、流量が少ない12~3月に減少します(2006年の調査結果、和未発表データ)。この年の土佐湾西部海域で調査した栄養塩濃度の分布状況を述べると、夏(7~9月)は窒素(NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>)、リン(PO<sub>4</sub>)濃度とも四万十川河口付近が高濃度となり、河口からの距離が遠くなるに連れて濃度が低下する傾向が見られました。その時の植物プランクトン量の分布は、栄養塩(NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>、PO<sub>4</sub>)濃度の多寡に一致した状態となり、四万十川から供給される栄養塩が沿岸のプランクトン生産に関わっていたことが分かりました。それに対し

て冬(1~3月)の土佐湾西部海域では、四万十川からの栄養塩供給量が少なくなっているにもかかわらず、栄養塩濃度は海域全体で夏よりも高くなり、それに合わせて、植物プランクトン量も夏よりも多い結果となりました(2006年調査、和未発表データ)。

もともと海域では、死滅した植物プランクトンが海底に沈降し、それらは分解によって栄養塩として水中に溶け込みます。従って、海底付近で栄養塩濃度が高くなります。夏は海水の表層部が温められ、海水が鉛直的に混じらなくなることから、表層まで栄養塩が運ばれず貧栄養な状態(窒素やリンが少ない状態)となります。従って、土佐湾西部海域では四万十川から流れてくる栄養塩を頼りにして、プランクトン生産が促されます。一方、冬は表層海水が冷えることによって鉛直的な混合が生じ、海底に存在する豊富な栄養塩が表層まで運ばれるため、海域全体として栄養塩が豊富となり、プランクトン生産も活発となります。

以上のことから、夏に土佐湾の生物生産に貢献していた四万十川の栄養塩は、冬には供給量が減少し、海までその影響は及ぶことはなく、アオノリなど汽水域での藻類生産に利用されると考えられます。また、冬には鉛直混合によって栄養塩が豊富となった土佐湾海水が汽水域に入り込んできます。したがって、汽水域への栄養塩の供給源としては、海水も重要な役割を果たしていると考えられます。

### アオノリの生育と環境条件

四万十川汽水域には天然アオノリが生育し、その天然産の収穫量は全国第1位であることが良く知られています。しかし、近年、その収穫量が激減し、生育状態に影響を及ぼす環境要因の解明が望まれています。

アオノリの生育と環境条件との関係については、これまでもいくつかの報告があり、生育塩分帯(大野・高橋、1988)や水温条件(平岡ほか、1999)、濁りの条件(Ohno & Miyanoue, 1980)について示されています。しかし、アオノリの生育に深く関わっていると考えられる栄養塩については、両者の直接的な関係を示した事例(研究論文)が我が国には存在しません。これまで報告されてきた天然アオノリに関する研究論文はそのほとんどが四万十川汽水域によるもので、当水域は学術的にも極めて貴重な存在と言えます。そこで、四万十川汽水域をフィールドとし、2009年と2010年の冬ノリ収穫期に、アオノリと栄養塩との関係を把握するための調査を実施しました(四万十市・高知大学連携事業)。本日はその調査結果を紹介します。

### 2009年と2010年のアオノリの生育状態

調査は冬ノリ収穫期に汽水域3地点(2009年:山路、鍋島、下田;2010年:山路、実崎、下田)で各シーズンに4回ずつ実施し、アオノリの葉長や色調(クロロ

フィルa量)、窒素・リン含有量を調べるとともに、水中の栄養塩濃度(窒素  $\text{NO}_3+\text{NO}_2+\text{NH}_4$ 、リン  $\text{PO}_4$ )も潮汐変化に合わせて測定しました(1日5回)。

葉長は、2009年シーズンでは各地点とも平均20cm程度で、汽水域全体として良く伸長していました。一方、2010年シーズンでは山路地点は前年シーズンと同様に平均20cm程度であったのに対し、実崎、下田地点では平均10cmにも満たない状態で、収穫対象となる生長は示しませんでした。品質の指標となる色調については、2ヶ年とも山路のアオノリが相対的に薄い特徴が見られました。特に2010年の山路の色は薄く、四万十川汽水域で唯一、伸長した場所であるにもかかわらず、「色落ち」した状態となっていました。



#### アオノリの色調と栄養塩との関係

2010年シーズンのアオノリの窒素・リン含有量は、いずれも山路が下流側2地点に比べて少ない結果となりました。2009年シーズンの結果も含めて窒素・リン含有量と色調との関係を見ると、窒素・リン含有量が少なくなると色調が薄くなる明瞭な傾向を示し、山路のアオノリの「色落ち」的現象が窒素とリンの含有量の不足によるものと考えられました。一方、2010年シーズンの栄養塩濃度を地点間で比べると、窒素( $\text{NO}_3+\text{NO}_2+\text{NH}_4$ )は差が見られなかったのに対し、リン( $\text{PO}_4$ )は山路が低い結果が得られました。

スジアオノリと近縁のボウアオノリの研究事例によると(Bjornstater and Wheeler, 1990)、体内の窒素とリンの成分比は生育状態と関係があり、どちらかが多くなりすぎても生育は衰え、適度なバランスが重要であることが示されています。このことを踏まえると、2010年の山路のアオノリは、水中のリンが少ないことによってリン摂取量がまず抑えられ、体内の成分バランスが崩れていったと考えられます(窒素過多)。その結果、水中の窒素濃度は低くないにもかかわらず、窒素摂取量も減少し、色が薄くなったと考えられます。

今回の調査結果から、四万十川産アオノリは各生育場の栄養塩濃度の影響を受けて、場所により窒素・リンの成分比や含有量が異なることが分かりました。またこれまでの研究により、上流側と下流側では形態なども異なることが明らかとなっています(平岡・寫田、2004)。このように四万十川産のアオノリは、四万十川と土佐湾海水が混じり合う汽水域の複雑な環境変化に適応し、様々なタイプのアオノリが存在するようになったと考えられます。このことから、汽水域の環境を知るためには、四万十川流域全体の環境や土佐湾の

特徴をより深く理解することが重要と考えます。ご静聴ありがとうございました(文責 和)。

#### 引用文献(アルファベット順)

- Bjornstater, B. R. and P. A. Wheeler (1990) Effect of nitrogen and phosphorus supply on growth and tissue composition of *Ulva fenestrata* and *Enteromorpha intestinalis* (Ulvales, chlorophyta). *J. Phycol.* 26, 603-611.
- 藤田真二 (2005) 沿岸魚類の大育成場. *海洋と生物*, 27, 10-17.
- 原田慈雄・高橋芳明・藤井久之 (2009) 和歌山県日高川における近年のアユ資源変動メカニズム. *海洋と生物*, 31, 508-514.
- 平岡雅規・團昭紀・萩平将・大野正夫 (1999) 異なる温度条件下におけるスジアオノリのクローン藻体の成長と成熟. *日本水産学会誌*, 65, 302-303.
- 平岡雅規・寫田智 (2004) 四万十川の特産品 スジアオノリの生物学. *海洋と生物*, 26, 508-515.
- 岩田明久・細谷誠一 (2005) ハゼ類の多様性からみた四万十川河口域. *海洋と生物*, 27, 39-46.
- 木下泉 (2001) アカメ稚魚を求めて. 稚魚の自然史(千田哲資・南卓志・木下泉編著), 北海道大学図書刊行会, 札幌, pp.171-193.
- 小林純 (1960) 日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究. *農学研究*, 48, 63-106.
- 和吾郎 (2004) 四万十川流域の栄養塩類 一源流域から沿岸域まで一. *海洋と生物*, 26, 501-507.
- 和吾郎・木下泉・深見公雄 (2008) 四万十川から供給される栄養塩が土佐湾西部沿岸海域の栄養塩分布と基礎生産の季節変化に及ぼす影響. *海の研究*, 17, 357-369.
- Ohno, M. and K. Miyanoue (1980) The ecology of the food alga *Enteromorpha prolifera*. 高知大学海洋生物教育センター研究報告, 2, 11-17.
- 大野正夫・高橋勇夫 (1988) 高知県下・四万十川に生育するスジアオノリの分布域について. 高知大学海洋生物教育センター研究報告, 10, 45-54.
- 坂口穂子・上田拓史・磯部健太郎・木下泉・東健作・平賀洋之 (2009) 2006~2007年の四万十川河口砂洲の崩壊と回復が河口域カイアシ類群集に及ぼした影響. *日本プランクトン学会誌*, 56, 120-128.
- 高橋勇夫 (2009) アユ仔稚魚は河口域に残留しようとしているのか? *海洋と生物*, 31, 411-417.
- 田井野清也 (2004) 河口域の密林. *海洋と生物*, 26, 535-539.
- 塚本勝巳 (1988) アユの回遊メカニズムと行動特性. 現代の魚類学(上野輝弥・沖山宗雄編), 朝倉書店, 東京, pp.100-133.
- 涌井海・八木佑太・山中拓也・木下泉 (2009) 土佐湾でのアユの母川回帰性と初期生態の河川間比較. *海*

洋と生物, 31, 522-529.

山崎武 (1993) 四万十川・川漁師ものがたり. 同時代  
社, 東京, 240pp.