

吉野川河口における塩分環境と シオマネキ幼生分布状況

EFFECT OF SALINITY ON HABITAT OF LARVAE OF *UCA* AROUND THE YOSHINO RIVER MOUTH

宇野宏司¹・中野 晋²

Koji UNO and Susumu NAKANO

¹学生会員 修(工) 徳島大学大学院 工学研究科博士後期課程(〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

²正会員 博(工) 徳島大学助教授 工学部建設工学科(〒770-8506 徳島市南常三島町2-1)

The Yoshino river mouth is a precious habitat for fiddler crabs, genus *Uca*, that are now in danger of extinction in Japan. Salinity around the river-mouth is one of the most influential environmental functions for habitats of their larvae stage. In this study, first, to clarify the larvae's preference for salinity, laboratory experiments were carried out. Secondly, the relationship between larval emergences from the tidal flats and salinity and the habitat distribution of larvae at the Yoshino river-mouth were investigated by field observation. Finally, movements of larvae from hatching to 10 days later were calculated using semi 3-D tidal current and Lagrangean Analysis. The results are summarized as follows: 1) Larvae of genus *Uca* prefer high salinity concentration, which is more than 20 psu. 2) The habitat distribution of larvae at the Yoshino river-mouth is limited until 5km upstream and they were found from the bottom layer which shows high salinity concentration. 3) The result of larval movement simulation coincides with that of field observations. It was apparent that 90% of larvae die out until 1 week after hatching and most of surviving larvae stay around their original tidal flat.

Key words: *Uca arcuata*, *Uca lactea*, the Yoshino river mouth, salinity, Lagrangean Analysis, ecosystem

1. はじめに

吉野川河口には広大な砂州や干潟が点在し, 多くの動植物に貴重な生活場を提供している。なかでも稀少種とされるシオマネキ(十脚甲殻類スナガニ科シオマネキ属)にとっては有明海に次ぐ規模を誇るハビタットになっている。堆積物食者でもある本種は, 河口域の水質浄化に大きく貢献しているほか, 生物多様性の観点からも吉野川河口を代表する生物としてその保全が強く望まれているところである。

図-1に四国地方のシオマネキの生息分布図を示す。吉野川はその源を高知県瓶ヶ森に発し, 中央構造線に沿って東進する日本有数の河川で, 幹線流路長は194km, 流域面積は3750km²である。図中●または○で示される地点では, *Uca*属(シオマネキ(*Uca arcuata*), ハクセンシオマネキ(*Uca lactea*))の存在が確認されているが, 吉野川河口を除いてはいずれも規模が小さく, 近い将来に絶滅することが懸念されている。

本種をはじめ干潟生態系を構成する生物の多くは複数

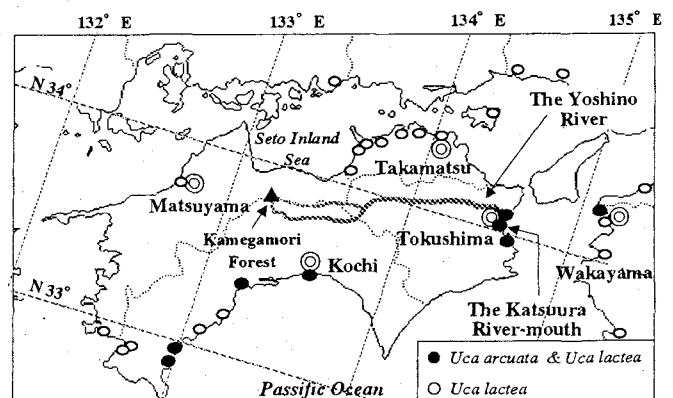


図-1 四国地方のシオマネキ生息地

の生活ステージをもつため, その保全にあたっては, ステージの各段階で生息環境に影響を及ぼしている因子について検討する必要がある。著者らはこれまでに浮遊幼生を対象に室内実験や現地観測をおこない, 運動特性や生理特性についていくつかの知見を得ている¹⁾。また, ラグランジュ粒子移動シミュレーションを用いて, 幼生

表-1 採集された抱卵メス個体

個体名	採集日	採集河川	甲幅(横) (cm)	甲長(縦) (cm)	体重(g)			放卵日	放卵時刻	満潮時刻
					孵化前	孵化後	卵重量			
01a	07/05/01	吉野川	29.3	17.8	10.46	8.21	2.25	07/09/01	7:30	7:33
01b	07/19/01	吉野川	35.4	22	----	----	----	07/20/01	6:30	4:54
01c	07/19/01	吉野川	31.1	19	11.28	9.61	1.67	07/22/01	5:42	6:29
01d	07/19/01	吉野川	26	17	7.57	6.64	0.93	07/21/01	18:50	19:18
01e	07/21/01	勝浦川	29.95	19.25	9.51	8.45	1.06	07/21/01	20:00	19:18
01f	08/03/01	吉野川	33.6	21.6	8.98	7.45	1.53	08/04/01	----	----
01g	08/03/01	吉野川	31.7	19.9	9.07	7.89	1.18	08/04/01	----	----

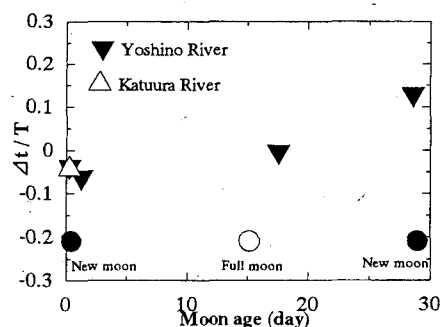


図-2 幼生孵化状況

の分散・定着機構を検討してきた^{2),3)}。しかし、シミュレーションで得られた結果が現地観測データと整合しているのかどうか十分に検討出来ていなかった。そこで、本研究では、浮遊期における生息環境因子のなかでも特に塩分に着目し、幼生分散現象の解明をおこなうことを目的として、①幼生の塩分選好性に関する室内実験、②干潟における幼生の孵化状況に関する現地観測、③河川での幼生および塩分の分布状況の把握、④準3次元 FEM 浮遊幼生分散シミュレーションによる幼生分散過程の検討を実施した。

2. 幼生の塩分選好性に関する室内実験

シオマネキ幼生孵化のタイミングについては、他の *Uca* 属と同様に、大潮の高潮時に孵化することが確認されている。浮遊期における生息環境因子としては、水温や水質 (pH, DO) が考えられるが、なかでも塩分は幼生自身の生存に大きく影響するようである。

本研究では、孵化後間もない幼生を対象に、様々な塩分環境下での幼生の分布状況と生残率を調べ、幼生の塩分環境への適応性について考察した。

(1) 飼育および実験方法

2001 年度は住吉干潟 (吉野川河口 N34° 04'53", E134° 34'22") で6個体、勝浦川河口 (徳島市 N34° 2'13", E134° 34'37") で1個体の抱卵メスを採集することが出来た。干潟で採集した抱卵個体は、塩分 18~20 psu の人工海水中で飼育した。ここでは飼育水の交換、給餌、水位、温度、光量の調整などは一切行っていない。採集された放卵メス個体の一覧を表-1 に示す。このうち、本実験には7月19日に採集された個体 (01-b, 01-c, 01-d) から放出された幼生を用いた。実験方法は以下のとおりである。まず複数のメスシリンダーを用意し、それぞれ人工海水を注入する。このとき海水の注入量は0, 400, 800, 1200, 1600, 2000cm³とメスシリンダーごとに変化させた。次にメスシリンダー内の海水が2000cm³になるまで1日汲み置きした水道水を静かに注入し、6種類の塩分勾配をもたせた半海水を用意した。その後、それぞれのメスシリンダーにプランクトンネットで採集した

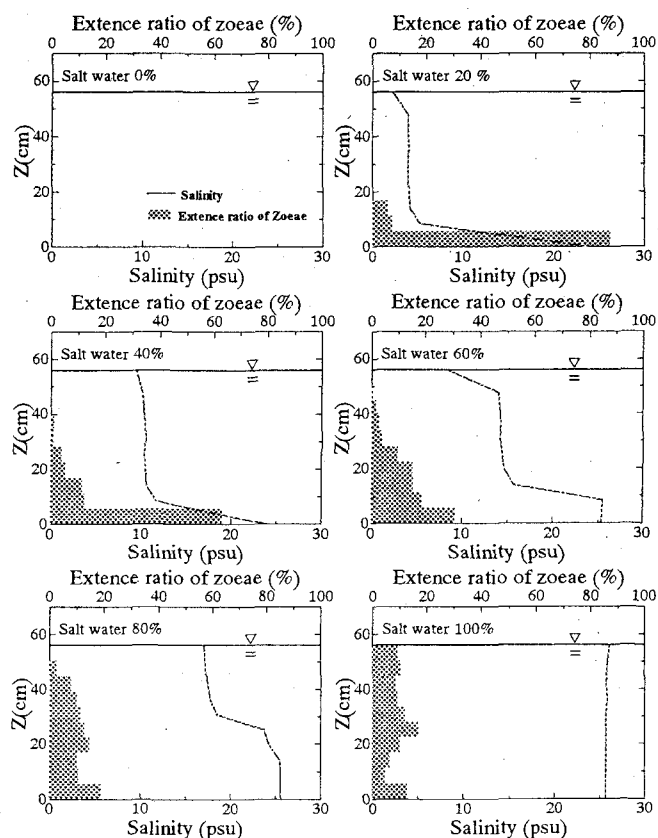


図-3 塩分選好性の実験結果

約1500個体の幼生を水面から静かに投入し、投入1時間後の幼生の鉛直分布と塩分を測定した。

(2) 結果

図-2 に、高潮時刻および月齢からの位相遅れの関係を示す。縦軸の $\Delta t/T$ (T : M_2 潮の周期) は孵化時刻の高潮時からの位相遅れを示している。両河川ともシオマネキの孵化行動は高潮時前後3時間以内の限られた時間に行われている。塩分選好性に関する室内実験に用いた幼生も、この潮汐リズムにしたがって放出されたものであり、これを用いて生理実験をおこなうことの有用性が確かめられた。図-3 は、塩分選好性の実験結果である。ここで Salt water 80% とは、人工海水と水道水の混合比が 8:2 であることを示す。この結果、幼生は 20 psu

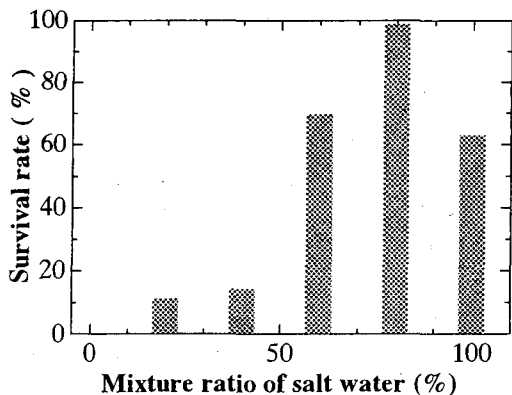


図-4 メスシリンダー中に占める海水の割合と幼生生存率の関係

表-2 ポンプ調査日

観測日	月齢	潮汐	満潮時刻	観測時刻
07/07/01	15.6	大潮	19:56	18:00-1:00
07/21/01	0.3	大潮	19:18	17:00-0:00
09/02/01	13	大潮	5:21	1:00-10:00

以上の高塩分の水域を好んで生存することが確かめられた。一方、低塩分の水環境のもとでは、生存が困難なようである。とくに Salt water 0% という淡水の環境下では、投入後 1 時間以内に幼生が全個体死滅した。図-4 に、メスシリンダー中に占める海水の割合と幼生の生存率の関係をしめす。これによると海水が占める割合が大きいほど、幼生の生存率は高くなる傾向がみられるが、淡水の存在が全く無い場合にも生存率は低下するようである。

以上のことから、孵化後間もないシオマネキ幼生にとって塩分は不可欠であり、高塩分の水域に対して高い適応能力を有することが明らかになった。

3. 現地での幼生の出現パターンと塩分環境の関係

(1) 調査概要

吉野川河口から上流約 2.4km にひろがる住吉干潟の西北端部で、シオマネキの幼生出現時期と生息環境条件を調べることを目的に現地調査をおこなった(表-2, 図-5)。図-6 に採水地点のみお筋の断面形状を示す。昨年と比べて、河床が全体的に高くなっている傾向が見受けられるが、観測地点付近では依然としてシオマネキが多数生息していること、住吉干潟への河川水は主としてこの断面を通過していることから、住吉干潟における幼生の出現状況を比較的確に把握できる観測地点であると考えられる。調査時間は高潮時の前後 4 時間を目安としたが、いずれの調査においても幼生の出現が確認された。採水方法、調査項目は昨年と同様であるので文献 1) を参照されたい。ただし、今年度

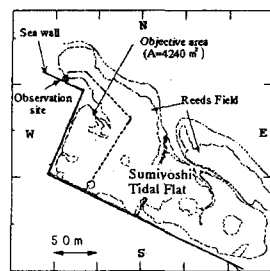


図-5 調査干潟

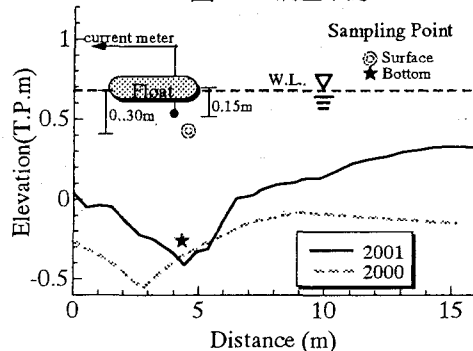


図-6 みお筋の断面形状

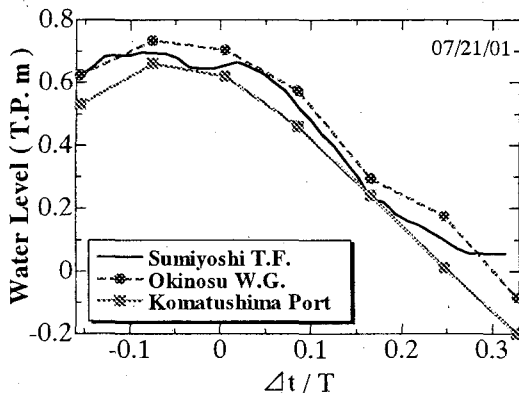


図-7 観測地点における水位変化

は観測地点での水位変化についてメモリー式水位計 (LG-B5, ログ電子株式会社) により計測した。

(2) 調査結果と考察

図-7 は、調査地点 (住吉干潟)、沖州水門 (河口より 1.9km 上流)、および小松島港の水位データを示したものである。沖州水門および河口砂州の水位が小松島港と比較して水位が高くなっているが、河口砂州による流れの抑制効果が一因であると考えられる⁴⁾。図-8 は 7/1, 7/21, 9/2 の 3 回の調査における幼生の出現パターンと出現時の塩分をまとめたものである。シオマネキの幼生は、5 段階の zoea 期と megalopa 期を経て、稚ガニになり、干潟に回帰することが知られているが、今年度もその傾向が確認された。また、孵化直後の第 1 段階の zoea は正の走光性をもつため、水面近くを漂う傾向があるが、

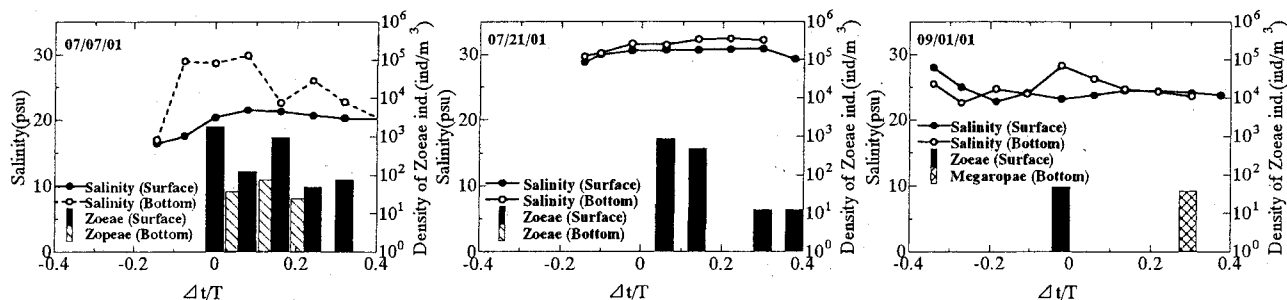


図-8 幼生の出現パターンと塩分環境

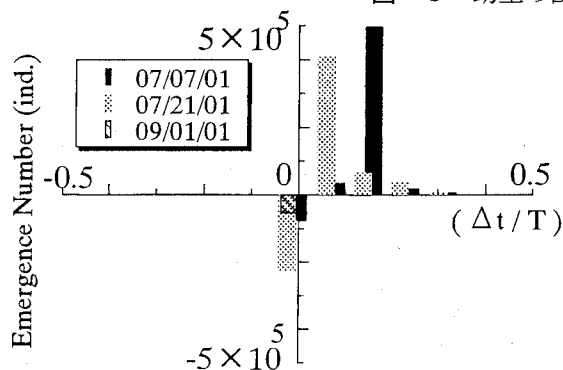


図-9 Zoea 幼生の断面通過量

観測でも表層で多くの zoea 幼生が採集された。孵化時刻はおおむね高潮時前後3時間以内であった。幼生出現時の塩分環境についてみると、zoea 幼生が多く採集された表層の塩分は時間を通じて比較的安定していることがうかがえる。

さらに、採集された zoea 数にポンプ採水地点での流量をかけ、各時間における zoea 通過量を推計した。ここでは、採水地点を通過する流量により、対象干潟（面積 $A=4240\text{m}^2$ ）の水位が一樣に上昇すると考え、水位 H と流量 Q の関係を

$$Q = A(dH / dt) \quad (1)$$

で近似した。なお、水位データはメモリー式水位計により計測した観測地点での水位データを用いている。

図-8の結果と式(1)を用いて、単位時間あたりに採水地点を通過する zoea 幼生個体数を推算した(図-9)。ここで、正は干潟から河川へ、負は河川から干潟方向への移動を示す。干潟から河川に流出する zoea 幼生は満潮時刻前後に集中的に出現することから、新たに生じた幼生、すなわち孵化直後の幼生であると考えられる。

4. 吉野川における幼生の生息分布状況と塩分環境

干潟から放出された幼生は、約1ヶ月間周辺水域を浮遊したあと、もとの干潟に底着することが知られている。

表-3 小型船舶による吉野川縦断調査

観測日	観測時刻 (往路)	観測時刻 (復路)	潮汐	満潮時刻
06/30/01	10:29-12:22	12:40-14:15	長潮	14:37
07/14/01	11:19-13:03	----	小潮	11:48
07/25/01	11:06-15:02	----	中潮	8:53
08/30/01	10:35-12:35	13:17-14:48	中潮	17:19

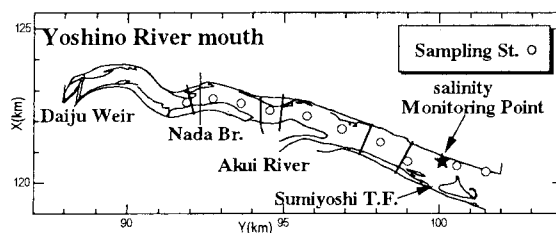


図-10 塩分縦断調査地点

幼生期には、外敵との遭遇や洪水などの危機に直面することも多く、この段階での生存の成否は種の存続上、重要な問題となっている。

本研究では、干潟から放出された幼生の分布状況を把握することを目的として、吉野川河口における船舶縦断調査をおこなった(表-3)。調査区間は河口から上流約12kmの名田橋付近までである(図-10)。幼生の採水地点にはGPS(GP-1650DF, FURUNO)を用いて移動し、水温と塩分の鉛直分布の測定と、プランクトンネットを用いた鉛直曳きによる幼生の採集をおこなった。ただし、7/14、7/25は幼生の鉛直分布を調べることを目的に表層(水面下50cm)・底層(河床から50cm)から小型ポンプによる採水(採水量80ℓ)をおこない、幼生を採集したが、いずれも底層から幼生が採集された。図-11に吉野川河口におけるシオマネキ幼生の生息分布と塩分分布を示す。幼生の分布は、河口からおおよそ上流約5kmより下流に分布しており、それより上流では確認できなかった。吉野川河口におけるシオマネキの親個体群の生息限界地点が上流約6.5km付近であることから、シオマネキの幼生は親個体群のすむ干潟より下流側の水域に広く分布しているものと考えられる。

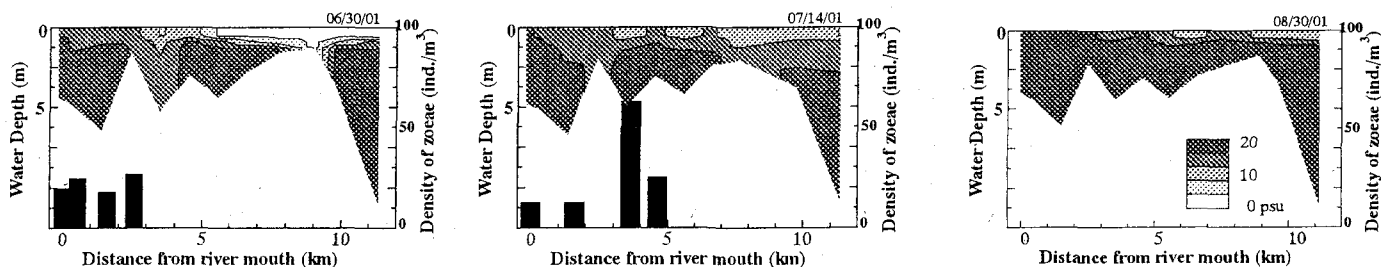


図-11 幼生の生息分布状況と塩分コンター図

5. 数値シミュレーションによる幼生分散

浮遊幼生を対象にした分散シミュレーションは、これまでも著者ら^{2), 3)}や清野ら⁵⁾によって試みられている。しかしながら対象生物のモデル化と検証に必要なデータの蓄積が課題となっていた。著者らが開発した FEM マルチモデルによる幼生分散シミュレーションにおいても、現場データを用いた十分な検証が出来ていなかった。今回の一連の現地観測により、放出のタイミング、干潟からの放出量およびその後の分布状況が把握されたので、これらのデータを用いて本モデルの有効性および分散過程の検証をおこなった。

(1) 数値モデル

解析対象領域は河口から上流に約 10km、沖方向に約 3km の区間で、計算接点は 2000、要素は 3754 である。上流端には、H-Q 曲線より得られた第十堰通過流量を、下流端には小松島港の潮位データをそれぞれ与えた。モデルの詳細については文献 3) を参照されたい。

(2) 浮遊幼生モデル

ここでは幼生を中立粒子に見立てて Lagrange 的に追跡するとともに幼生の浮遊・沈降機構が Stokes の沈降速度式で表現できるものと仮定して、移流速度とあわせて幼生の鉛直方向の移動量を評価した。幼生の移動が河道内を離れて陸域に到達した場合には、打ち上げられて死亡したものとみなし、計算から除外している。なお、幼生自身の鉛直日周運動や遊泳力は現地河川での情報が十分に得られていないため考慮していない。

(3) 検証データ

数値計算モデルの検証にあたっては、著者らが河口付近 (図-10 の★印: N34° 54'8.28", E134° 35'11.76") に設置しているメモリー式水温塩分計 (COMPACT-CT, アレック電子) より得られたデータを用いた。ここでは、水面から 0.5m、3.5m で水温・塩分を 1.5m、2.5m で水温のみを連続観測している。フジツボ等の生物付着による測定精度の低下を防止するために、週に 1 回センサー一部を清掃して、精度の維持に努めた。なお、水位の検証に

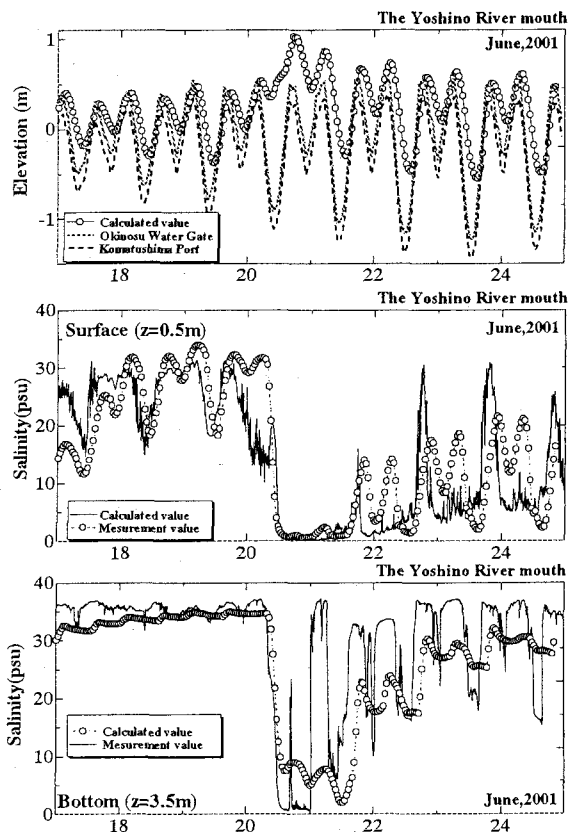


図-12 塩分回復過程に関する再現計算結果

は沖州水門の水位データを用いた。

解析対象期間は 6/17~6/24 までの 8 日間である。この間に中規模な出水 (6/20 A.M.10:00; 時間最大流量 1567 m³/s) があり、河口の塩水くさびが一度フラッシュされて回復していく様子が記録されている。

図-12 は、この時期の塩分回復過程に関する再現計算の結果である。砂州の存在による河川流の貯留効果が過大評価されており、水位では約 2 時間ほどの位相遅れがみられるとともに、洪水時に水位が大きくなっている。また、塩分については急激な塩分の流入等には対応できていない。これらの原因としては砂州周辺のメッシュ分割が十分に細かくなく、現在の地形を精密に再現できていないことや、砂州周辺のような急激な水深変化がある場所では隣り合うメッシュの層数が急変するため、その境界処理に改善の余地があることなどが考えられる。

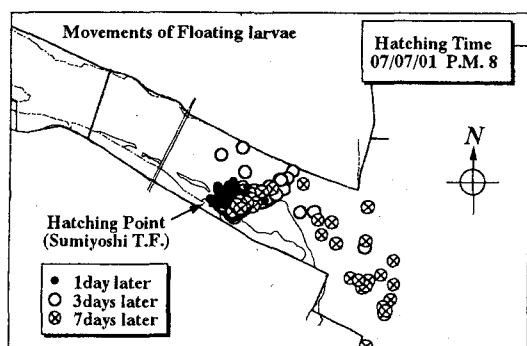


図-13 浮遊幼生分散モデルによる計算結果

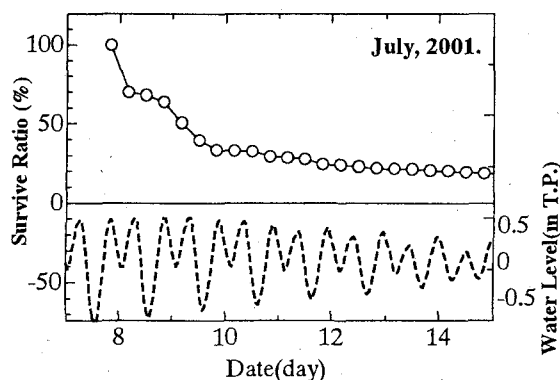


図-14 幼生放出後の生残率と水位

(4) 幼生分散シミュレーションと現地観測の比較

最後にポンプ調査および船舶による縦断調査の結果を用いて、吉野川河口に放出された幼生が1週間でのどのような分散過程を示すのか検討する。

ポンプ調査の結果から7/7の満潮後に住吉干潟からは約5万個体の幼生が河川へ流出したものと考えて、現地の潮汐、流量データを与えて幼生の分散シミュレーションをおこなった(図-13)。その結果、幼生の一部は海域まで到達するが、多くの幼生が放出後1週間を経てもなお干潟周辺の水域にとどまる傾向が明らかにされた。

図-11に示す現地調査でも河口から上流5kmの限られた範囲内に幼生の出現を確認しており、本モデルによるシミュレーションの結果は現場の状況をある程度再現することが出来ている。図-14は、放出された幼生の生残率と水位の時系列変化を示したものである。放出直後に生残率が急激に減少するのは干潟に打ち上げられる可能性が極めて高いためで、いかに早く河道内に移動できるかが生存上大きな問題になっていると考えられる。また、放出から1週間で水理現象だけでも1/10程度に個体数が減少することが明らかになった。

5. まとめ

本研究では、シオマネキの浮遊生活期における生息環境因子として特に塩分環境に着目し、室内実験および現地調査をおこない、それに基づいた浮遊幼生分散シミュレーションを実施した。その結果、幼生の塩分選好性や現場での孵化状況、孵化後河口域での分布状況の一部が明らかにされた。しかし、幼生の実態把握にはまだ多くの課題を残しており、今後引き続きモニタリングを行い、データの蓄積に努めることが必要である。得られた主な成果をまとめると次のようである。

1) シオマネキ幼生の生存は、塩分環境に大きく支配さ

れる。とくに高濃度の塩分に対する適応能力は比較的優れているが、低塩分環境下では生息が困難なようである。
2) 干潟から放出された幼生はもとの干潟周辺の水域の底層で多く採集された。吉野川河口域は上流11km付近まで底層に高塩分の海水が浸入しているため、幼生の生息にふさわしい安定した塩分環境を広く提供している。
3) 幼生分散シミュレーションによれば、孵化後1週間で幼生は放出数の約10分の1にまで減少する。また、大部分の幼生が干潟周辺の水域に留まることが確認された。

謝辞：

本研究は科学研究費補助金(基盤研究C-2, #13650569 代表:中野晋, 基盤研究C-2, #11650531 代表:岡部健士, 基盤研究B-2, 代表:鎌田磨人), 河川整備基金(13-1-4-26, 中野晋)の補助を受けておこなわれた。水位データは国土交通省四国地方整備局徳島工事事務所から提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 中野晋, 宇野宏司: 吉野川河口におけるシオマネキ幼生孵化と潮汐応答, 水工学論文集, 第45巻, pp.1273-1278, 2001.
- 2) 中野晋, 藤井勇, 真子昌樹, 北野利一, 三井宏: 浮遊幼生期を持つ潮間帯動物「シオマネキ」と河口部の流れとの関係, 水工学論文集, 第42巻, pp.1153-1158, 1998.
- 3) 中野晋, 宇野宏司: 底生動物「シオマネキ」の浮遊幼生分散と塩分環境, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.1181-1185, 2001.
- 4) 中野晋, 北野利一, 藤川美和: 吉野川下流部の地形変動と洪水による河口砂州変形計算, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.641-645, 1999.
- 5) 清野聡子, 塩崎正孝, 宇多高明, 後藤隆, 黒木利幸, 中村由行: 空中写真による干潟の微地形判読と現地調査を組み合わせたカブトガニ生息地・産卵地調査法, 水工学論文集, 第45巻, pp.1021-1026, 2001.

(2001. 10. 1受付)