

希少種・シオマネキからみた吉野川河口の水環境特性

徳島大学工学部 正会員 中野 晋

1. はじめに

吉野川下流域は河口から第十堰までの 14.5km が汽水域となっている。この水域では干潟を中心に多様な動植物が育まれている。特に河口から約 2km の南岸に広がる住吉干潟（約 2.5ha）は塩性ヨシの群落や希少種に指定されているシオマネキ（*Uca arcuata*）、ハクセンシオマネキ（*Uca lactea lactea*）の生息地があり、その生態系の継続的な維持は河川工学上も重要な課題となっている。

吉野川下流域では第十堰改築、河口横断橋建設、流通港湾第 2 期事業など多くの建設計画が議論されており、こうした事業の環境へのインパクトの予測は重要な問題となっている。環境の良し悪しのものさしとして、しばしば生物指標が用いられるが、カニなどの甲殻類は底生動物の頂点の位置を占めているため、重要な指標となる。また、河口干潟の環境を考える場合には、良好な環境にのみ生息する「シオマネキ」は指標生物の代表としてとらえることができる。

こうした背景のもと、著者らは平成 5 年以降、住吉干潟を中心にしてシオマネキをはじめとしたスナガニ類の生息調査を実施してきた。これまでの調査^{1) 2)}では、主として成ガニの生息分布と干潟の底質特性について調べ、カニの種類と棲み分けの状況について検討してきた。平成 7 年からはこれに加えて浮遊幼生（ゾエア）の採集と水質調査を行い、これらと干潟周辺の流れ特性の関連についても検討を加えている。本報告では今までに得られたデータをもとに、シオマネキの生息特性から吉野川河口の水環境について考察する。

2. 調査方法

2. 1 スナガニ類の生息調査

平成 7 年の調査は 7/13, 7/27, 8/25, 9/12, 10/25, 11/22 の 6 回、平成 8 年の調査は 4/17, 5/15, 6/17, 7/16, 9/3, 9/27, 10/29 の 7 回、図-1 に示す住吉干潟のヨシ原周辺の 10 領域別の底質（含泥率、含水率、間隙水の塩分）、カニの種類別活動個体数を調べた。なお、H8/9/27 と 10/29 の底質については粒度分析を行った。調査はいずれも大潮の日の正午前後を目処にして実施した。

2. 2 浮遊幼生調査

調査は河口よりスナガニ類の多く生息する住吉干潟周辺までの上流に約 3km の範囲において、平成 7 年は 8/2-3 と 10/18-19 の 2 回、平成 8 年は 5/12, 6/23, 8/23, 10/22 のいずれも日中の時間帯にプランクトンの採集および水質調査を行った。図-2 に H7/8/2-3 (○), H8/5/12 (△), H8/6/23 (◇) に行った調査地点を示す。なお図で黒塗り (●, ▲, ◆) で示された位置ではカニの幼生 (zoea) が採集された。

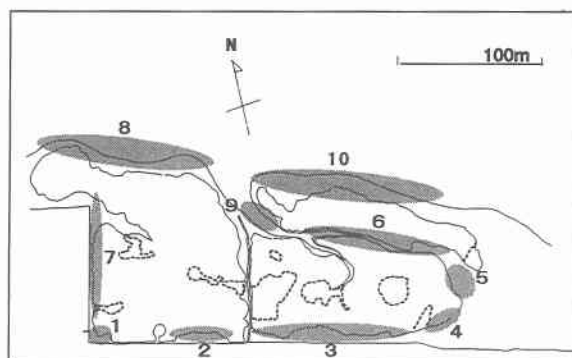


図-1 住吉干潟におけるカニの生息調査地点

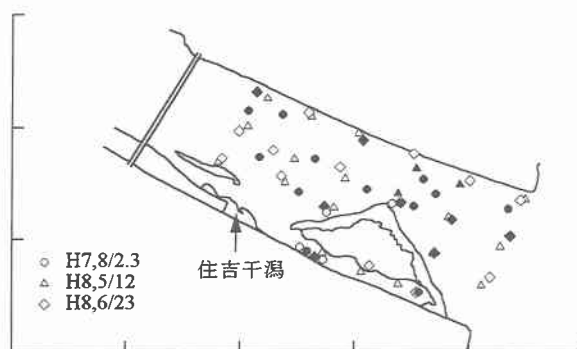


図-2 プランクトン採集地点

本研究は四国大学・酒井勝司先生、本学・三井 宏先生、北野利一先生、本学大学院藤井 勇君、真子昌樹君との共同で実施されたもので、本稿の一部は文献³⁾に報告されている。

1) プランクトン採集

プランクトンの採集は深度における分布量の違いを調べるため、各地点で水面下 50cm、水底上 50cm、水深中央部の 3 点（水深の浅い箇所では水深中央部を除く 2 点）で手押しポンプで吸引採水し、プランクトンネット（網目 160 μ m）で浮遊生物を濃縮分離した。H7 は 1 回に 10 リットル、H8 は 15 リットル採水した。採集直後にホルマリン（約 1 % 溶液）で固定し、実験室に持ち帰り、光学顕微鏡で種類別に分離同定された。

2) 水質調査

プランクトンを採集した後の水を用い、水温、電気伝導度、DO、pH、ORP の 5 項目について携帯型水質計（TOA 製、DO-11P、HM-12P、RM-12P、CM-11P）を用いて船上で測定した。

3. 調査結果と考察

3. 1 スナガニ類の生息調査結果

吉野川河口部には、シオマネキ、ハクセンシオマネキ、ヤマトオサガニ、チゴガニ、コメツキガニ（いずれも、スナガニ科）の他にもアシハラガニ（イワガニ科）など 14 種類以上のカニの生息が報告されている（酒井ら⁴⁾）。住吉干潟ではスナガニ科のシオマネキ、ハクセンシオマネキ、チゴガニ、コメツキガニおよびイワガニ科のアシハラガニ、ヒメアシハラガニ等が底質や高度に適応して分布している。

図-3 にシオマネキなどの活動個体数密度と表層泥（<5cm）の含泥率、含水率および間隙水の塩分の関係を示す。シオマネキはこの干潟の優占種であり、比較的広い範囲の含泥率に適応して生息している。平均的には 1 m^2 に約 12 個体の活動が観測され、最盛期にはこの干潟だけでも 10 万個体程度生息しているものと推定される。ヤマトオサガニは含泥率は比較的広い範囲（23~78%）に適応できるが、含水率の範囲では 23~30% と極めて狭い範囲の底質に集中して生息していることが分かる。このことはヤマトオサガニが底質変化の影響を受けやすい種であることを示している。ただ、生息範囲は広く、領域 2,3,6,7,8,10 で生息している。一方、ハクセンシ

オマネキは含泥率で 80% 以下、含水率で 25~35% の底質のみに生息し、主として流れの影響の受けやすい領域 9,10 のヨシ周辺に集中している。この場所は本干潟の中で洪水や波浪進入による地形変化

が最も大きいため、数値シミュレーションによる地形変化予測も含めて、監視が必要と考えられる。間隙水の塩分に関してはシオマネキの場合に高塩分になるほど活動数が減少する傾向がみられる。なお、含水率と間隙水の塩分は干出後に乾燥や地下水の低下などによる影響を受けており、絶対的な評価はできないが、生物の生息適性要因の 1 つであると考えて検討している。

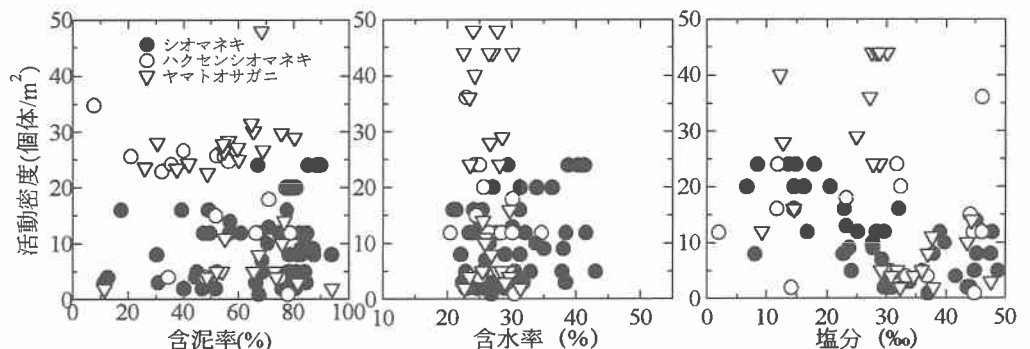


図-3 活動個体数密度と底質特性の関係

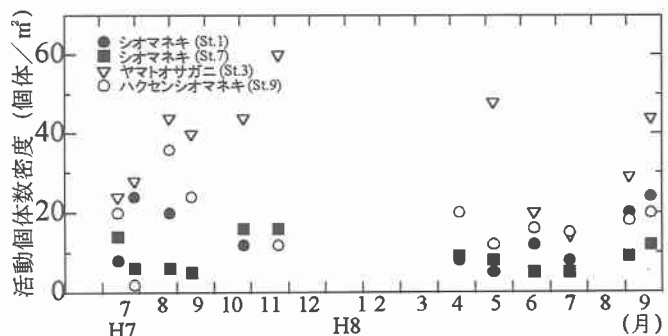


図-4 カニ別の活動個体数密度の月別変化

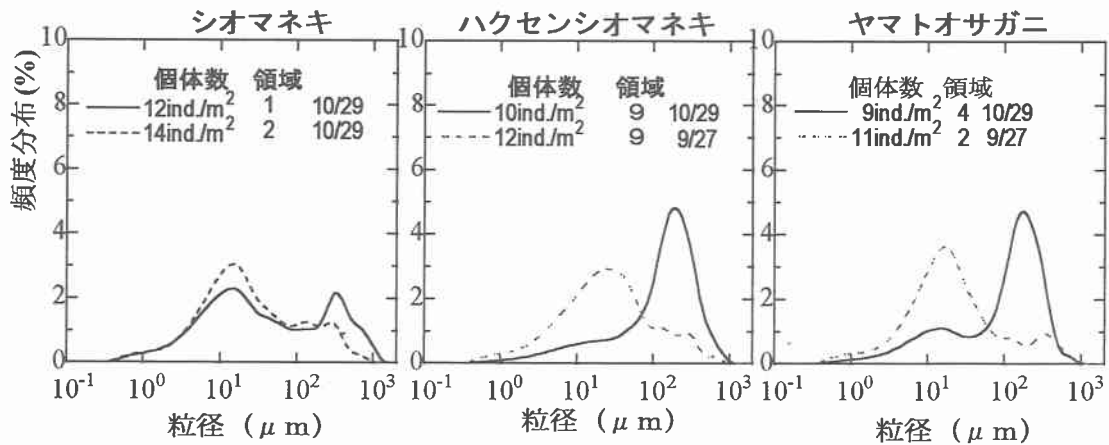


図-5 生息場所の粒度分布

図-4は、カニ別の活動個体数密度の季節変化を示している。カニの活動個体数密度は、潮の干満や天候、気温等の条件によって異なるが、シオマネキおよびハクセンシオマネキは、多くの稚ガニが加入して成長を続ける8月から9月の気温の高い夏の時期に活動数が多くになっている。ただし、観測点7ではH7.8~10月の最盛期に活動数が減少している。この時期は渇水の影響により、河口水の塩分が35%以上になるなどシオマネキにとっては適さない環境であったためと考えられる。また、ヤマトオサガニについては、夏から秋にかけて多く見られるが、11月以降にも活動数は減少しておらず、高塩分の影響は小さかったのではと考えられる。図-5には各カニの生息密度の高い場所について、粒度分布を測定した結果を示す。この干潟では20~50 μm のシルトと0.3mm前後の2種類の底質の割合が高く、その内、シオマネキはシルト分の多いところを好むことがわかる。

3. 2 浮遊幼生調査結果

シオマネキは親ガニから放出された後、ゾエア期を5段階経た後、メガロパ、稚ガニと成長する。この内、ゾエア期とメガロパ期前半を浮遊状態で過ごす。大谷⁵⁾がシオマネキを飼育観察した結果によると、ゾエア期は11~19日、メガロパ期は10~16日で、その後、稚ガニに変態している。匍匐と浮遊を繰り返す後半のメガロパ期も含めると浮遊幼生期間は3週間~1ヶ月程度と考えられ、この期間の河口周辺の水環境がシオマネキの再生産に大きな影響を与える。

写真-1に採集されたカニのゾエア幼生の1例を示す。採水量が10または15リットルと少なかったこともあり、動物プランクトンの大半はカイアシ類であり、ゾエアはわずかししか採集できなかった。また、経験不足のため、種の同定はできていない。そこで、採集されたゾエア全体の分布特性についてのみ検討した。



写真-1 ゾエア幼生

図-6はゾエアの採集量から求めた吉野川河口部での全ゾエア密度の月別変化を示す。これより、4月末から5月にかけて幼生の放出が始まり、水温が高くなる8月に密度が最大となり、その後、急減することがわかる。従って、6~8月に洪水などのインパクトがあると、カニの再生産には重要な影響が出ると考えられる。図-7は深さ別のゾエア採集数と動物プランクトン総数についてまとめたものである。ゾエア、動物プランクトンともに、中層ないし下層に多く生息していることがわかる。なお、右端に示した総プランクトン数は左側に示した3回の採水試料による。

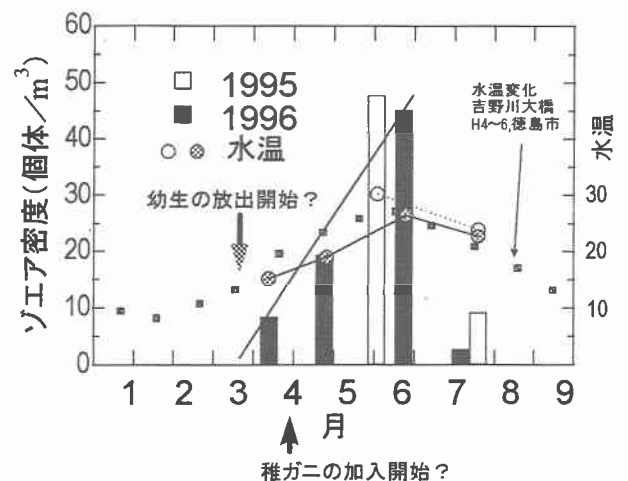


図-6 ゾエア幼生密度の月変化

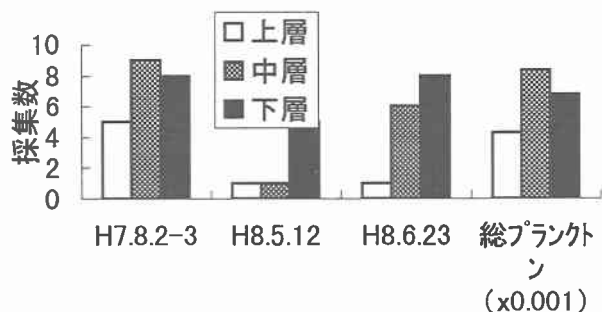


図-7 層別ゾエア数，総プランクトン数

り採集されたカイアシ類，フジツボ類などの動物プランクトン総数である．ゾエア採集数と傾向はほぼ同じであり，ゾエア幼生が十分採集できなくても動物プランクトンの動態を知ればある程度，ゾエアの生息環境を把握することができるのではないと思われる．図-8はゾエア密度と塩分の関係を見たものであり，10～30‰の範囲で生存が可能と思われるが，どちらかと言えば15‰以上の高塩分状態が生存に適しているようである．

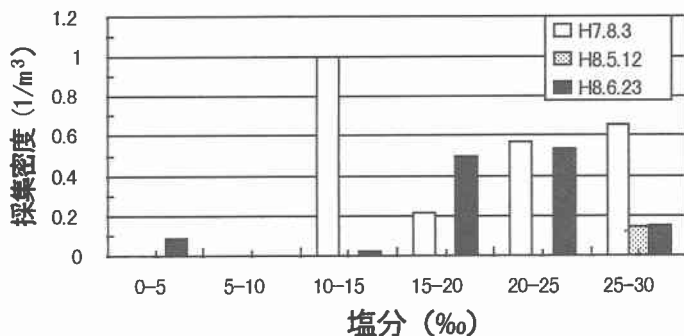


図-8 ゾエア密度と塩分

4. 河口部の水理特性と幼生の生息場所との関連

4. 1 河口周辺部の流れ計算

吉野川河口部の流れの特性を把握し，流れと浮遊幼生との関係を検討するための基礎として，FEMによる流況計算を行った．平面2次元の潮流方程式をガラーキン法で定式化した後，時間方向には川原ら⁹⁾が提案した修正2段階陽解法を用いて積分した．このときの計算対象域は吉野川河口～河口から9kmの河川内と河口より沖に約6km，南北に約7.5kmの海域を含む領域で，節点総数は2000，要素は3754，タイムステップは1.0sである．海境界は小松島港の推定潮位を基準にし，潮汐波の南北方向への位相差を考慮して与えた．図-9は平均的な大潮時の下げ潮最強時の流速ベクトルを示す．河口に形成された河口砂州の北側を通して流出するとともに，流出した河川水が海岸に沿って南下する状況がわかる．

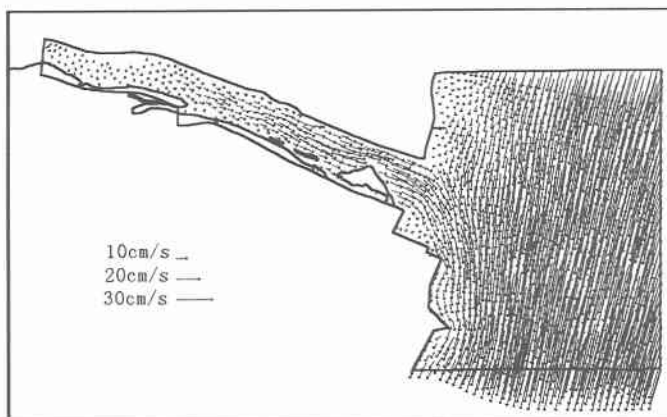


図-9 河口周辺の下げ潮時の流況

4. 2 移動計算のモデル化

上述のように親ガニから放出された幼生は，潮流や河川流に乗って分散し，約1ヶ月の浮遊生活の後，再び干潟に回帰する．特に放出直後に最も大きな減耗が予想されること，第1ゾエア期は3日程度であることなどを考慮すると，放出後2，3日で生育に適した水域に到達できることが重要であろう．加えて，干潟に回帰可能な範囲に留まることも考慮する必要がある．吉野川が流れ込む紀伊水道西側では南向きの恒流(潮汐残差流)が卓越しているため，海域に出た幼生の多くは太平洋側へ流出して回帰できなくなる確率が高くなる．従って，放幼後，数潮汐にわたり多くの幼生が河口周辺の良好な水域に留まれるほどシオマネキの繁殖にとっては適していると考えられる．しかし，浮遊幼生時の幼生の生態については生物学の分野でもほとんど解明されていない部分である．そこで，放出直後の浮遊幼生の分散現象を，潮汐場での中立粒子の分散現象としてとらえ，吉野川河口周辺での幼生の滞留状況についてオイラー・ラグランジェシミュレーション手法を用いて調べた．

x 方向， y 方向の流速 u ， v の流れ場において，時刻 $n\Delta t$ に位置 $(x^{(n)}, y^{(n)})$ にあった中立粒子は1階の偏導

関数まで考えると、時刻 $(n+1)\Delta t$ の位置 $(x^{(n+1)}, y^{(n+1)})$ はそれぞれ式(1),(2)で表される（早川ら 7）。

$$x^{(n+1)} = x^{(n)} + u^n \Delta t + \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^n (x^{(n+1)} - x^{(n)}) + \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n (y^{(n+1)} - y^{(n)}) \quad (1)$$

$$y^{(n+1)} = y^{(n)} + v^n \Delta t + \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^n (x^{(n+1)} - x^{(n)}) + \frac{\Delta t}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^n (y^{(n+1)} - y^{(n)}) \quad (2)$$

さらに粒子の分散を考慮すると、1 ステップあたりの x 、 y 方向の移動距離はそれぞれ以下の式(3),(4)で表される。

$$\Delta x = \left[\frac{u \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\partial v}{\partial y} \Delta t \right) + \frac{1}{2} v \frac{\partial u}{\partial y} \Delta t}{\left(\frac{1}{2} v \frac{\partial u}{\partial y} \Delta t \right) \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\partial v}{\partial y} \Delta t \right) - \frac{1}{4} \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} (\Delta t)^2} \right] \Delta t + \gamma \sqrt{2K\Delta t} \quad (3)$$

$$\Delta y = \left[\frac{v \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\partial u}{\partial x} \Delta t \right) + \frac{1}{2} u \frac{\partial v}{\partial x} \Delta t}{\left(\frac{1}{2} v \frac{\partial u}{\partial y} \Delta t \right) \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\partial v}{\partial y} \Delta t \right) - \frac{1}{4} \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} (\Delta t)^2} \right] \Delta t + \gamma \sqrt{2K\Delta t} \quad (4)$$

ここに、 γ は平均値 0、標準偏差 1 の正規乱数で、 K は分散係数である。一般に、分散係数は代表長さと代表速度の積に比例する。干潟周辺の代表長さに水深 $h + \eta$ 、代表速度に摩擦速度 U_* を採用すると分散係数は

$$K = c U_* (h + \eta), \quad U_* = \frac{\sqrt{gn}}{(h + \eta)^{1/6}} \sqrt{u^2 + v^2} \quad (5)$$

で表される。ここで c は定数であり、ここでは海域での分散係数が $10^4 \sim 10^6 \text{ cm}^2/\text{s}$ 程度となるように、 $c = 100$ の値を採用した。

シオマネキの幼生放出は大潮の満潮時に一斉に行われる。そこで、住吉干潟の 1 点（領域 10 に相当）より、満潮に合わせて 1000 個体の幼生が放出されたとして解析した。放出直後の幼生は遊泳能力が乏しいと考え、初期の生育水域に到達するまでは中立粒子とみなした。なお、これらの粒子の中で投入後、陸境界付近の水深が 0 となる地点まで移動した粒子は、干潟に打ち上げられて死亡する幼生と見なし、外海の計算範囲を越えて流出した粒子については、吉野川河口域の生態系に戻れなくなるものと仮定し、その後の移動追跡から除外した。

4. 3 計算結果と考察

図-10 に、上流端からの河川流量 Q を 0.50, 100 m^3/s と与えた 3 パターンについて、幼生放出から 0.5 潮汐後（干潮）～3.0 潮汐後（満潮）までの移動状況を示している。なお、河口から上流 14.5 km にある第十堰を通過する流量は豊水時、平水時、低水時、渇水時それぞれ 97.3, 37.9, 16.7, 6.4 m^3/s (S.24-60 の平均、建設省徳島工事事務所資料、) であり、計算パターンは渇水時～豊水時に対応したものである。この図より吉野川河口に形成された砂州が幼生の移動と深く関わっており、海域への流出を抑制していることがわかる。 Q が 0 ないし 50 m^3/s では幼生は 3 潮汐まではほとんどが河口内に留まるのに対し、100 m^3/s にな

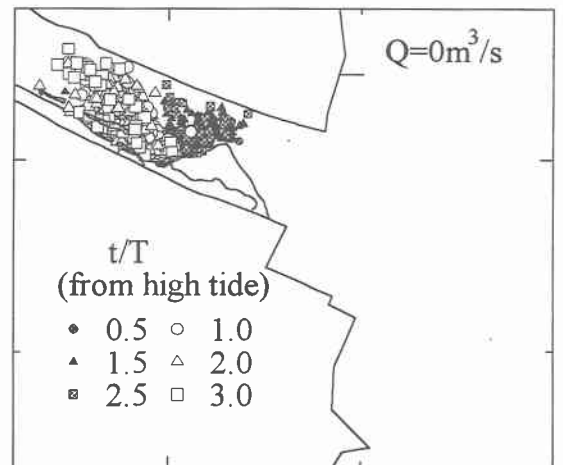


図-10(a) 幼生移動シミュレーション

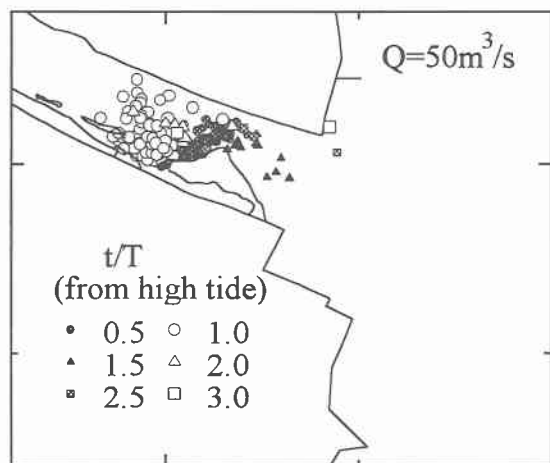


図-10(b) 幼生移動シミュレーション

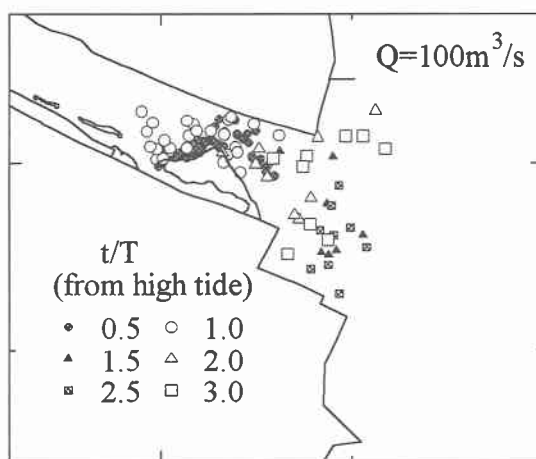


図-10(c) 幼生移動シミュレーション

るとほとんどの幼生は海域に流出することになる。幼生の放出期は概ね平水期に対応すると考えられる。したがって、住吉干潟で放出されたゾエア幼生の多くは河口より外海に流されることなく、砂州に守られた穏やかな水域を約1ヶ月漂いながら成長し、メガロップまたは稚ガニとして底質環境に優れたこの干潟に回帰するものと考えられる。

5. おわりに

本研究は吉野川河口干潟に生息するカニ類、特に「シオマネキ」の生息状況調査を中心に生物と河口の水理・底質特性との関係を把握しようと試みたものである。しかし、調査方法としても不十分なところが多く、定量的な把握といった点では、ほとんど進展していない。生物豊かな河川空間の形成を維持するためにはどういった環境であるべきかという命題に近づくためにも干潟の底質や河口の流れの変化による生物相の応答機構についてじっくり調べていきたいと考えている。

謝辞：熊本大学理学部合津臨海実験所、山口隆男先生にはシオマネキの調査方法等に関して貴重なアドバイスを頂いた。また吉野川周辺の地形データは建設省徳島工事事務所から提供いただいたものである。ここに記して謝意を表する。本研究は土木学会四国支部共同研究G（水域生態環境評価研究会）の研究の一部として行われた。その他、文部省科学研究費より、基盤研究(A)（代表：東北大学教授・澤本正樹氏）、基盤研究(C)（代表：徳島大助教授・岡部健士氏、代表：同助教授・中野 晋）の3件の補助を受けた。また徳島大学地域共同センター規則に基づく（株）西日本科学技術研究所との共同研究として実施された。ここに付記し、いずれにも謝意を表する。

参考文献

- 1) 中野晋ほか：吉野川河口干潟のカニと流れ特性，第49回年講，II，192-193，1994.
- 2) 中野晋ほか：吉野川河口での環境指標生物「シオマネキ」の生息条件，環境工学フォーラム講演集，1996.
- 3) 中野晋ほか：河口の環境指標生物「シオマネキ」の生態と水理・底質特性，水工学論文集，283-288，1997.
- 4) 酒井勝司ほか：吉野川河口域に見られる動物，Naturalist，1-2，85-91，1988.
- 5) 大谷拓也：シオマネキ幼生の飼育と観察，水産増殖，37-4，297-301，1989.
- 6) 川原陸人ほか：2段階ラックス・ヴェンドロフ有限要素法による潮汐流解析，海講論文集，22，498-501，1976.
- 7) 早川典生・細山田得三ほか：ラグランジュ的粒子追跡による広島湾奥部の海水交換に関する研究，海洋開発論文集，11，103-108，1995.