

河口の環境指標生物「シオマネキ」の生態と水理・底質特性
The Relation between Ecology of Fiddler Crabs (Genus *Uca*) and Hydraulic and Mud Property

中野 晋*・真子昌樹**・酒井勝司***・北野 利一****・三井 宏*****

By Susumu NAKANO, Masaki MANAGO, Katsushi SAKAI, Toshikazu KITANO and Hiroshi MITSUI

The ecological investigations on fiddler crabs (Genus *Uca*) have been conducted on the Sumiyoshi tidal flat in the Yoshino river mouth from 1993. This flat is one of a paradise of *Uca arcuata* and *Uca lactea lactea* which are specified to the rare species on the red-data book. This paper reports the results of inhabitant surveys of crabs (which include 1) active individual densities, 2) mud properties at their habitats, 3) sampling of crab larvae) and numeric calculation of the dispersion process of the crab larvae just after the larval release.

Keywords: Genus *Uca*, the Yoshino river mouth, tidal flat, ecological investigation, larval release

1. はじめに

吉野川河口から 2km の南岸に広がる住吉干潟 (約 2.5ha) は塩性ヨシの群生地として、また稀少種のシオマネキ (*Uca arcuata*)、ハクセンシオマネキ (*Uca lactea lactea*) の生息地として、その保全が望まれている。水辺周辺に建設される構造物がもたらす環境への影響評価の方法は河川工学や海岸工学の緊急かつ重要な研究テーマとなってきた。特に、土木施設と生物環境との関係は学問の境界領域であり、最も遅れている部分である。底生動物の頂点の位置を占める甲殻類は環境を計量する上での環境指標生物の 1 つである。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」は環境指標生物の代表となっている。

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。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、ガニの種類と棲み分

*	正会員 博 (工)	徳島大学助教授 工学部建設工学科 (〒770 徳島市南常三島町 2-1)
**	学生員	徳島大学大学院 工学研究科博士前期課程
***	農 博	四国大学教授 生活科学部生物学教室 (〒771-11 徳島市応神町古川)
****	正会員 修 (工)	徳島大学助手 工学部建設工学科
*****	正会員 工 博	徳島大学教授 工学部建設工学科

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。本論文では今までに得られたデータをもとに、吉野川河口特有の環境特性とシオマネキの分布について考察した。

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 5/15, 6/17, 7/16, 9/3, 9/27 の5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。測定はいずれも大潮の日の正午前後を目処にして調査を行った。

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（上げ潮）と10/18-19（下げ潮）の2回、平成8年は5/12（上げ潮から下げ潮）と6/23（下げ潮）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。

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³⁾）。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，ヒメアシハラガニが底質や高度に適應して分布している。

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應して生息している。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

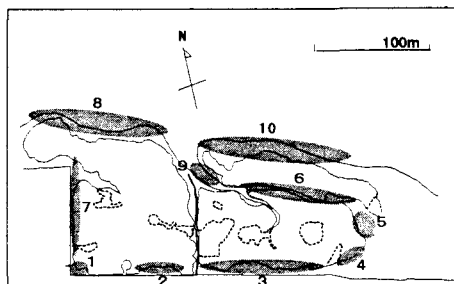


図-1 住吉干潟におけるカニの生息調査地点

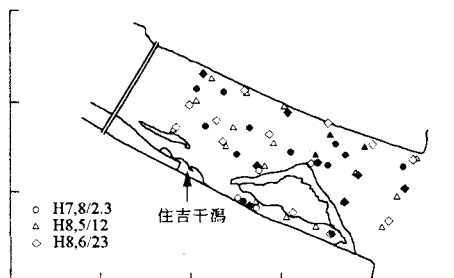


図-2 プランクトン採集地点

推定される。有明海周辺にシオマネキが多数生息することが知られているが、有明海全体で 30 万個体程度と言われており、これに比べて住吉干潟の生息密度は極めて高い。ヤマトオサガニは含泥率は

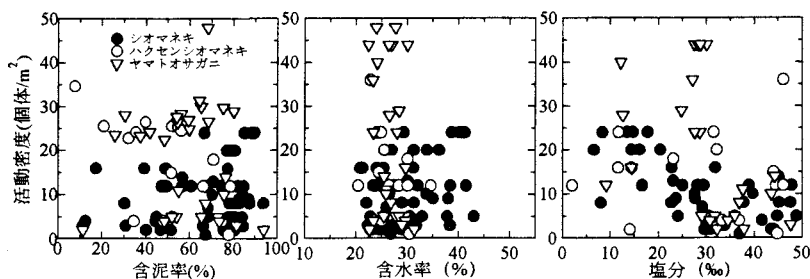


図-3 活動個体数密度と底質特性の関係

比較的に広い範囲 (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

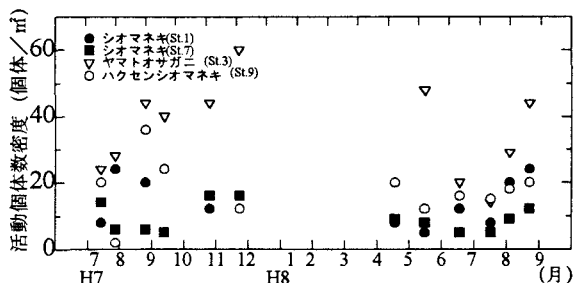


図-4 活動個体数密度の季節変化

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ので、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-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かけて、活動数が多くなっている。ただし、観測点 7 では H 7.8~10 月の最盛期に活動数が減少している。この理由は次のように解釈できる。つまり、この場所が水の流出入の滞にあたり、最も長時間流れが存在する。H 7 には渇水の影響により、河口水はシオマネキなどにとって不適なほど高塩分状態となり、海水の流入入時に、食餌行動が制約される状況にあり、活動数も低下するようになったと思われる。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いない。

3. 2 浮遊幼生調査結果

採水量が 10 または 15 リットルと少なかったこともあり、zoea 幼生は調査の順番に 22, 0, 7, 15 個体し

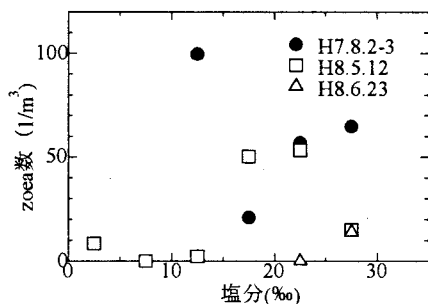


図-5 塩分と zoea 数密度

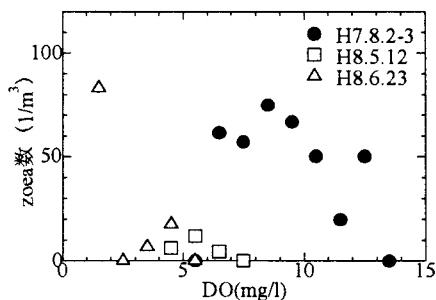


図-6 DO と zoea 数密度

か採集できなかったため、zoea 全体の特性についてのみ検討した。図-5、図-6は塩分、D Oと zoea 数密度の関係を調べたものである。データ量が少ないため、ばらつきが大きく、水質と zoea の浮遊環境の関係ははっきりしない。動物プランクトンは光に反応して上昇・下降運動をすることが知られている。図-7は各層別の zoea 数を調べたものである。日中は上層に比べると中層、下層に多く浮遊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

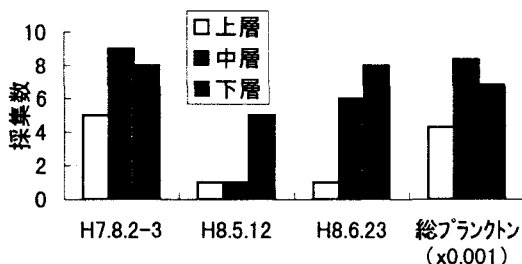


図-7 層別 zoea 数、総プランクトン数

H7.8 の採水試料により採集されたカイアシ類、フジツボ類などを含む動物プランクトン総数である。同日の zoea 採集数と傾向はほぼ同じであり、zoea 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 zoea 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。

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、流れとプランクトン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⁴⁾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 7km の河川内と河口より沖に約 4km、南北に約 5.5km の海域を含む領域である。また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-8は第 1 回プランクトン調査日にあたる平成 7 年 8 月 3 日 14 時 (下げ潮) の流速ベクトル図である。これは調査時間のほぼ中間に対応する流況であり、河口部ではみお筋のある北岸に沿って流出していることがわかる。なお、平常時の河川流量は潮汐の入退潮に比べると非常に小さいため、この計算では無視している。

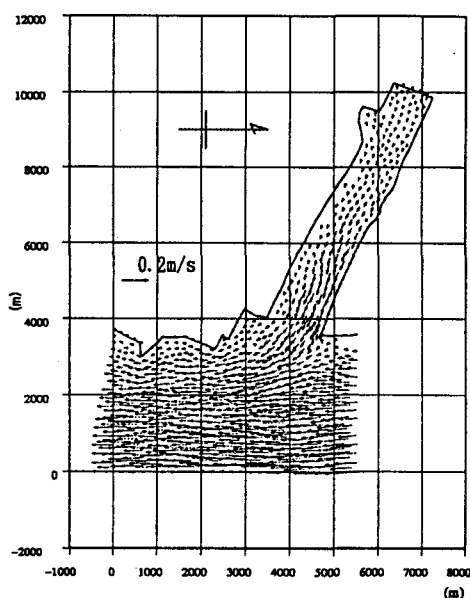


図-8 河口部の流れ状況 (下げ潮最強)

4. 2 移動計算のモデル化

親ガニから放出された zoea 幼生は、潮流や河川流に乗って分散し、約 1 ヶ月程干潟周辺の海中で生活した後、再び干潟に回帰することが知られている。特に放幼直後に最も大きな減耗が予想されるため、速やかに幼生が生育に適した水域に到達できることが重要である。加えて、干潟に回帰可能な範囲に留まることも重要な要素である。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⁵⁾).

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

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

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

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

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.

シオマネキの放幼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を持たず, 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. 2 計算結果と考察

図-9 は, 上流端からの河川流量 Q を 0, 50, 100, 200 m^3/s と与えた 4 パターンについて, 粒子投入してから 0.5 潮汐後 (干潮), 3.0 潮汐後 (満潮) での粒子の位置を示したものである. 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,) である. この図より満潮時に投入された粒子は 0.5 潮汐後の干潮時には, 下げ潮の影響を受け, 北岸のみお筋方向に向かって拡散している様子が伺える. その際, 河川流量が大きいほど広い範囲に拡散するとともに下流側に流されていることがわかる. また, 3.0 潮汐後の満潮時においては, 流量の大きい 100, 200 m^3/s の場合での粒子は, その大半が河口から外海へと流出している. これ対し, 流量が 0 m^3/s および 50 m^3/s の場合, ほとんどの粒子は干潟周辺を漂っていることがわかる. これより吉野川では平水時には, 浮遊幼生が河口より外海に流されることなく, 河口部の穏やかな水域を漂いながら成長し, 生息環境に適した干潟に回帰できる水理環境もっていると考えられる.

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のような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。また本学大学院生藤井 勇君には現地観測や分析で多大なる協力を得た。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。本研究には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：助教授・中野 晋）の3件の補助を受けた。ここに記して謝意を表する。また本研究は土木学会海岸工学委員会地球環境小委員会沿岸環境要素WGおよび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。さらに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) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.

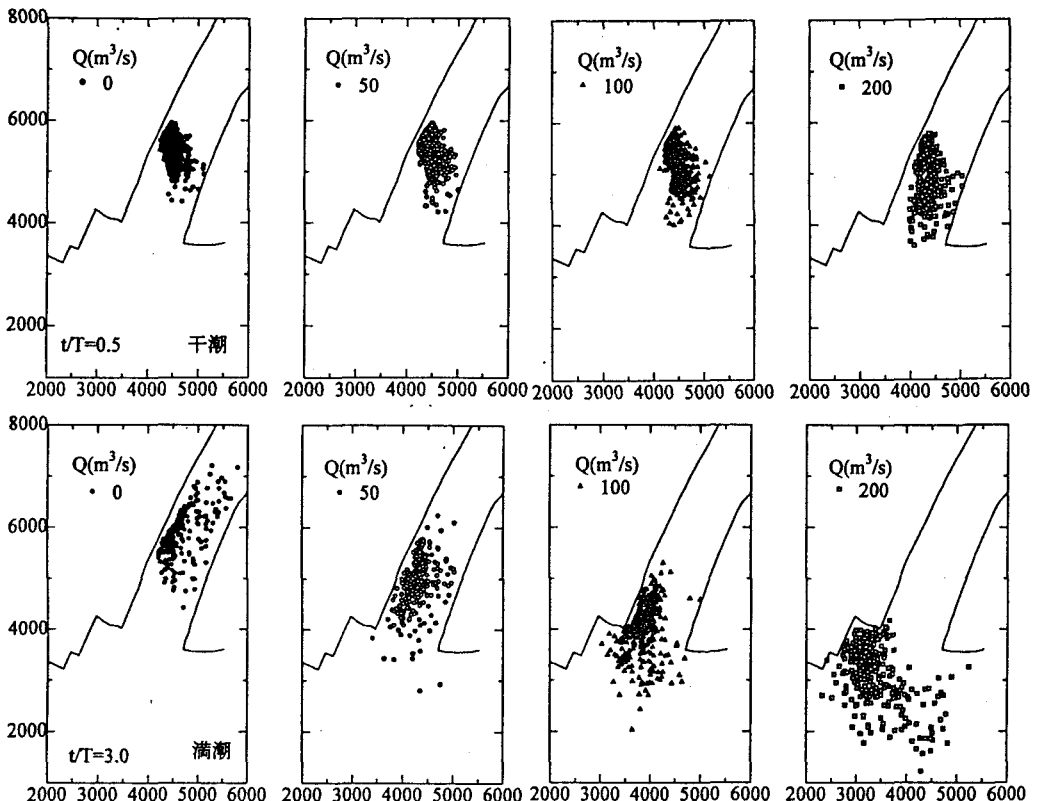


図-9 幼生の浮遊シミュレーション