

# 名蔵アンパル干潟におけるメガロパ幼生の着底と水流について

Effect of Water Flow on Megalopal Settlement in Nagura Amparu Tidal Lagoon, Ishigaki Island, Okinawa

河内 敦<sup>1</sup>・石川忠晴<sup>2</sup>

Atsushi KAWACHI and Tadaharu ISHIKAWA

This study analyses settlement process of megalopa, which is final stage of crab larva, on a tidal lagoon based on population sampling of juvenile crabs and numerical simulation. According to population sampling, the observed results indicated many megalopae have settled down at around points of 0.2 meters elevation. Then, to grasp the relationship between megalopal settlement and flow field, numerical tracer chasing by 2-D Lagrangian model was conducted. This study brought up tractive force as settlement parameter of tracer. By comparison the distribution, the calculated result with considering tractive force agreed with the observed result. Additionally, spatial distribution of juveniles could change under the complicated flow field caused by tidal and wind conditions.

## 1. はじめに

本研究の対象フィールドである名蔵アンパル干潟は、石垣島の西部名蔵川河口に位置する潟湖干潟で、マングローブと海岸林に覆われ、豊かな生態系が保持されている(図-1)。2005年には、ラムサール条約登録湿地となり、今現在環境保全やワイズユースへの住民意識も高まってきている。一方同干潟では、農地改良に起因する名蔵川上流域の水理条件の変化によって、干潟の水理環境が変化することが懸念されている。

一般に、水理環境は干潟の生物環境を考える上で重要なファクターの一つである。なぜなら、それが生物への食物供給や浮遊幼生の輸送に寄与していると考えられるからである(例えば、中野ら, 2001)。したがって、その形態や様相の変化は生物環境に悪影響を与える可能性がある。

そこで、本研究は水理環境と生物環境の関係性について定量的に把握することを目的とした。本報告では、同干潟の優占種であるカニ類、ミナミコメツキガニ(*Mictyris brevidactylus*; Brachyura, Mictyridae)の浮遊幼生期に着目し、幼生の最終形態であるメガロパ幼生の干潟への着底過程における水流の作用について把握することを試みた。

ところで、これまでのメガロパ幼生の着底過程に関する研究は、生物学的立場からその生態的特性に着目して議論がなされてきた。そして、一般に(和田, 2000; 大谷, 1989)メガロパ幼生は親ガニと同じ底質選好性に従って着底場所を決めると結論づけられている。しかし本研

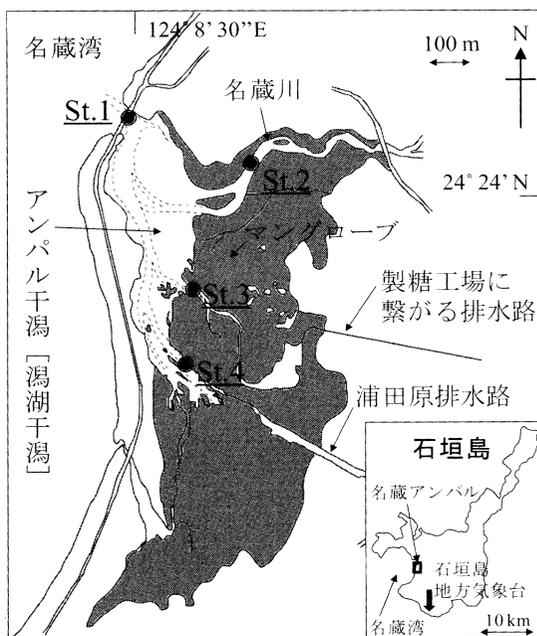


図-1 石垣島名蔵アンパルの位置図

究では、そのような幼生の特性や意思を考慮する前に、水理特性と着底過程の関係を明らかにすることが環境保全活動・計画を行う上で重要であると考えた。

本研究は、以上のような視点に立ち、以下に説明する現地調査と数値シミュレーションからメガロパの着底過程と水理特性の関係性について検討した。

## 2. 新規個体群調査

### (1) 調査方法

メガロパ幼生の干潟での着底状況をみるため、新規個体を対象とした分布調査を行った。表-1に調査期間と地

1 学生会員 修(工)東京工業大学大学院総合理工学研究科環境理工学創造専攻

2 フェロー 工博 東京工業大学教授大学院総合理工学研究科環境理工学創造専攻

表-1 新規個体群調査の調査日と地点数

期間	調査日	調査地点数
(a)	2006年4月27~29日	28
(b)	2007年4月19~21日	36
(c)	2007年5月14, 17~19日	75

点数を示す。調査は、50cm四方コドラート内を深さ10cmまで掘り出し、2mm目の篩にかけて、確認された新規個体の種類と数を記録した。具体的な調査地点は、次節で結果とともに示す。

## (2) 調査結果

調査結果を図-2に示す。図中の○印が調査地点、棒グラフがその地点の新規個体の生息密度を表している。また、白黒グラデーションが標高[m]、太線は標高0.2mと0.4mを示している。新規個体の生息密度は概して、標高0.2m前後の地点で高くなっている。

3回の調査で、新規個体は干潟北西部名蔵川河口の出口付近で安定して観測された。また、干潟南部の2本の流れ込みが合流する地点においても比較的多く観測され

ている。さらに、より詳細に調査された期間(c)においては、干潟東部名蔵川河口両岸でも新規個体が多く観測されている。図-2中、期間(a)に白点線で干潟内の滞筋を示すが、上で述べた地点はすべて複数の滞筋同士が合流し流れが淀む地点であるといえる。

また、干潟南部の着底状況に注目し、期間(c)の調査結果と干潟南部においてGPSで位置を特定したマングローブ(ヤエヤマヒルギ: *Rhizophora mucronata*)の植生分布を重ねて示したのが図-3である。両者を比較すると植生の周辺で、新規個体の密度が高いことが分かる。植生付近は、流れへの抵抗が大きくなるため周辺に比べて流れは緩やかになる。

結果として、新規個体が多く観測された地点は、流れが比較的緩やかになるところであると示唆される。この点に関して、次章の数値シミュレーションで検討する。

## 3. 数値シミュレーションの概要

本研究では、メガロバ幼生の着底過程をシミュレートするために、まず3次元流動モデルELCOM (Centre of Water Research, The University of Western Australia) を適

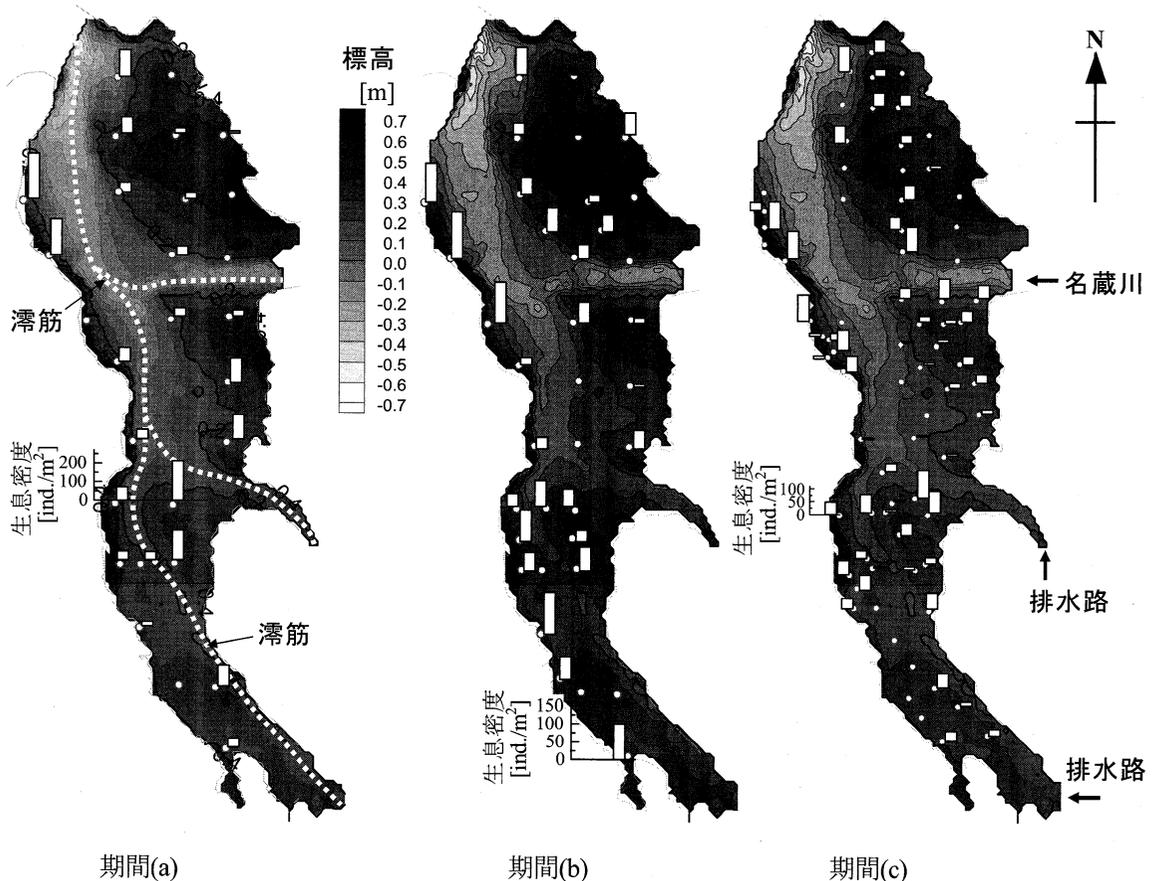


図-2 新規個体群調査結果。(棒グラフ: 生息密度[ind./m<sup>2</sup>], 白点線: 滞筋, コンター: 標高[m], 太線: 0.2, 0.4m標高地点)

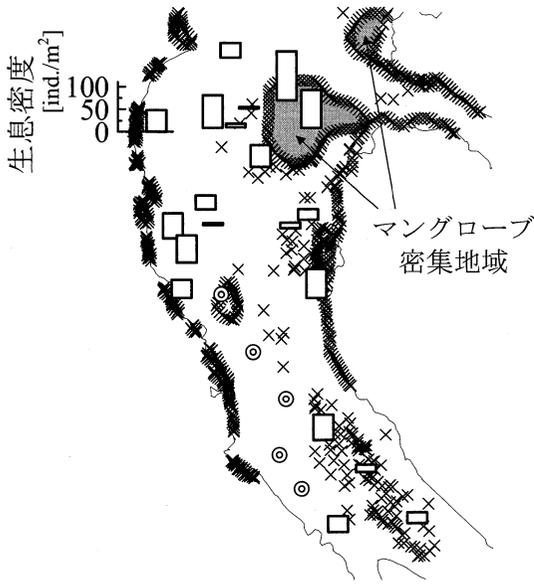


図-3 干潟南部における植生分布と期間(c)の調査結果(棒グラフは新規個体の生息密度, ◎印は新規個体の観測されなかった地点, ×印がマングローブ植生)

表-2 ELCOMの境界入力データ

Stations	境界入力データ
1	水位[m], 塩分[psu], 水温[°C]
2, 3, 4	流量[m <sup>3</sup> /s], 塩分[psu], 水温[°C]

用し、干潟内流動場の再現を試みた。そして、そこで得られた表面2次元流速と水深を用いて、幼生を模擬したトレーサー追跡計算を行い、着底過程と水流の関係性について考察する。

(1) 流動計算

図-1に示した4つの流入出口で2006年3、4月に水位、流速、塩分、水温を連続計測しており、表-2に示すデータを流動計算の境界条件として与えている。表中の流量は、観測水位と流速及び境界断面測量結果を基に、粗面の対数分布則とManningの平均流速公式が成り立つと仮定して算出している。潮汐条件は、図-4に示す大潮、中潮、小潮期の3ケースで、計算時間はそれぞれ36時間である。

風条件は、無風、南風5m/s、北風5m/sの3ケースを与えている。この条件については、現地での風向風速の計測を行っていないため、現場から10kmほどにある石垣島地方気象台(24°20.2'N, 124°9.8'E)での観測データより、計算対象期間3~5月の平均流速(約5m/s)と卓越風向を求めて設定した。具体的には、この期間は北風が卓越するが、ちょうど季節の変わり目のため、時折南風が吹くことも多い。

(2) 流動場の再現性

ELCOMによる流動計算の精度検証のため、St.1における観測流量との結果比較を行った。図-5に結果を示す。実線が観測データ、点線が計算結果で、干潟から海域へ流出するとき流量の値は正となる。ここで示した計算結果は無風時のものであるが、流量時系列の計算結果は風条件の違いでは、ほぼ違いがなかった。

計算結果は、どの潮汐条件においても観測値と概ね良い一致が得られており、次節のトレーサー追跡計算において十分な精度があると考えられる。

(3) トレーサー追跡計算

本研究では、早川ら(1995)の手法を参考に、平面2次元ラグランジュモデルによるトレーサー追跡計算を行

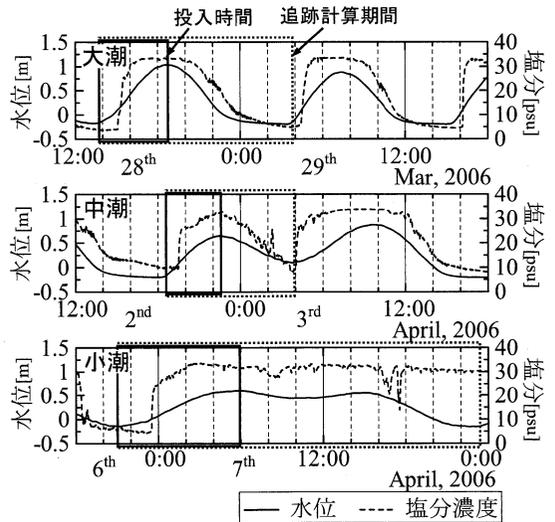


図-4 シミュレーション期間のSt.1での水位、塩分の観測時系列データ。(太線範囲: トレーサー投入時間, 点線範囲: トレーサー追跡計算期間)

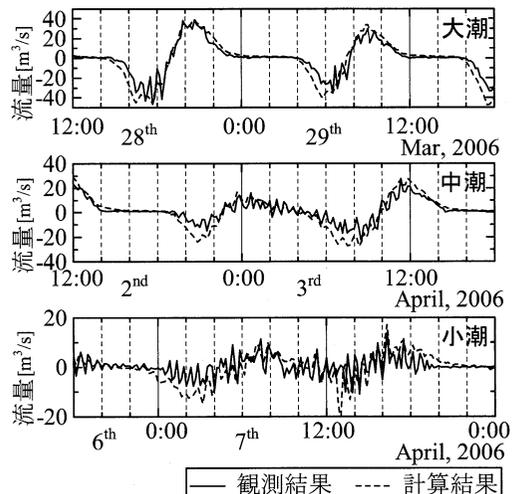


図-5 St.1における流量の観測値と計算値の比較

う。タイムステップは2minで、上げ潮時に海域から流入してくるメガロパ幼生の輸送過程を検証するため、図-6に示す海域との境界点からトレーサーを $100\text{個}\cdot\text{min}^{-1}$ で図-4の太線で囲まれた時間帯(上げ潮~満潮)に投入する。

トレーサーの追跡は、図-4の点線で囲まれた時間帯(上げ潮~満潮~下げ潮~干潮)で行い、次節に記す着底条件で干潮時、干潟干出底床に残るトレーサーの分布状況と調査結果を比較する。

#### (4) 着底条件の設定

本シミュレーションでは、幼生の着底条件として水理条件を取り上げる。しかしながら、メガロパ幼生は、幼生期をもつ他の生物種と同じように、塩分濃度や光の変化を感じて鉛直方向へ適宜移動することが知られている(Croninら, 1986; Leeら, 2005)。その能力は、水深が大きく流速が鉛直分布を持つ海域において、それ自身が自分の意思で移流もしくは停留することを助けるという点で水理特性とも重要な関わりを持つ。一方、水深が比較的小さく流速鉛直分布も無視できるような干潟域においては、この能力は、拡散目的には利用できず、着底行為そのものにつながると考えられる。したがって、干潟水域内の現象を対象とした本シミュレーションでは、この鉛直移動特性を考慮しない。

今回、着底条件として検討する水理条件は、「水深」と「掃流力」である。前者は、水深1cm以下になった時、トレーサーは、その地点に強制的に着底すると仮定する。後者は、現地調査結果より流れが緩やかになるところで幼生の着底が見られることを受けて、任意の地点における無次元掃流力 $\tau^*$ が無次元限界掃流力 $\tau^*$ 未満であれば、トレーサーはその地点に留まると仮定した。ここで、無次元掃流力 $\tau^*$ は、

$$\tau^* = \frac{U^{*2}}{RgD} \quad (1)$$

底面摩擦速度 $U^*$ (中野ら, 1997)は、

$$U^* = \frac{n\sqrt{g(u^2 + v^2)}}{(h + \eta)^{1/6}} \quad (2)$$

重力加速度 $g$ 、水平 $x$ ,  $y$ 方向の表面流速 $u$ ,  $v$ 、代表水深( $h + \eta$ )、幼生の大きさ(直径) $D = 0.025[\text{m}]$ 、水中比重 $R = \sigma_{\text{lava}} - 1$ 、幼生の比重 $\sigma_{\text{lava}}$ は対象幼生と類似する動物プランクトンの平均値1.23である(塚本, 2006)。また、シールズ図表より $\tau^* = 0.02$ である。

このような仮定の下、シミュレーションは2つの着底条件で行った。ケース1: 水深1cm以下の地点でトレーサーは着底する。ケース2: ケース1の条件に加えて、 $\tau^* < 0.02$ のときトレーサーはその場に停滞する。

## 4. 現地調査結果との分布比較

図-6(a)~(f)に計算条件の異なる代表的な6つケースについて結果を示す。それぞれの計算条件は、図の右下に記してある通りである。白黒グラデーションはトレーサーの着底量を、潮汐条件で異なるトレーサーの総投入量で無次元化して示している。コンターラインは0.2m置きに標高を示しており、標高0.2m及び0.4mは太線で示している。

### (1) 着底条件

図-6(a), (b)より着底条件の妥当性について考察する。現地調査結果(図-2)と比較すると、掃流力を考慮した(b)の方が調査結果で示された、標高0.2m前後の地点に着底している様子を再現している。特に、干潟東部名蔵川河口両岸では両者の再現性に差が見られ、掃流力を考慮することで実際の生息分布とより近い結果が得られている。したがって、掃流力がメガロパ幼生の着底条件の一つである可能性が示唆された。

### (2) 潮汐条件

図-6(b), (c), (d)はそれぞれ大潮、中潮、小潮時の計算結果である。他の条件は同一であり、着底条件は掃流力を仮定し、無風状態である。大潮期と中潮期は分布の傾向は似ているが、中潮期の方がトレーサー着底分布が広域でかつ密度も高くなっている。小潮期は他の潮汐と比べて、干潟北部特に海域との境界付近に着底の分布が偏っている。

このような違いは、掃流力を支配する流速場の違いによる。上げ潮時の初期は、どの潮汐でも水塊はある程度の流速を生じさせながら細い滯筋を遡るため、トレーサーは小潮期でも、干潟がほぼ完全に冠水する満潮時までには、干潟中央部までは遡ることができている。

しかし、下げ潮時は潮汐条件に応じて流速の大きさの違いが出てくる。そしてそれは、潮汐による変動水位に比例して大きくなる。そのため、流速が一番大きくなる大潮期は下げ潮時に海域へ再流出するトレーサーの量が多くなる。一方、中潮期は大潮に比べて流速がさほど大きくならないため、満潮時に干潟の広範囲に広がったトレーサーが、限界掃流力を超えない流速場で留まることができたと考えられる。

小潮期は、そもそもの上げ潮時の広がりが干潟中央部から北部にかけてと狭い範囲に留まるため、分布に偏りが生じたものと考えられる。

ところで、今回のシミュレーションでは幼生が海域から流入してくるタイミングについては考慮していない。しかし、実際は上げ潮時のどのタイミングで干潟に流入してくるかによって、幼生の干潟域内での分散状況は変わるはずである。今後、時間帯ごとの幼生の振舞いを比

較検討するとともに、現場海域と境界において実際に幼生サンプリングを行い、潮汐による干潟一海域間でのメガロバ幼生のフラックスを把握する必要がある。

(3) 風条件

図-6(b), (e), (f)は、掃流力を仮定した大潮期の計算結果で、風の条件がそれぞれ無風、北風、南風である。

北風の場合、トレーサーは干潟西部全般に着底している。この分布は、現地調査結果と一致している。しかし、

反対に南風の場合は、干潟の南部への着底はほぼ見られず、分布は干潟北東部及び名蔵川上流に偏っている。

したがって、メガロバの着底時期の風向は現在では北の確率が高いが、年ごとの風向パターンの違いや、今後気候変動による季節風の変化が生じた場合に、流動場の変化に応じて、幼生の着底分布も変化することが考えられる。

5. おわりに

本研究では、メガロバ幼生の着底過程における水流の作用について検討するため、現地での新規個体群調査とトレーサー追跡計算を行い、以下の結果を得た。

- (1) 現地調査結果より、標高0.2m前後の地点で多くの新規個体が観測された。また、幼生の着底は干潟水域内の比較的流れが緩やかな地点で行われていることが推察された。
- (2) メガロバ幼生の着底条件として掃流力を仮定した。シミュレーションの結果、仮定しなかった場合と比べて、新規個体群の生息分布とよく一致していた。したがって、幼生にとって外力である掃流力が、着底条件の一つである可能性が示された。
- (3) 干潟の流れ場は、潮汐や風の影響でその形態を大きく変化させるため、結果として幼生の着底分布を変える可能性が示唆された。

なお、本研究は河川環境管理財団のH17、18年度河川整備基金、及び日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(S)(課題番号:17106006, 研究代表者:池田駿介)の助成の下で行われた。記して謝意を表する。

参考文献

大谷拓也 (1989) : シオマネキ幼生の飼育と観察, 水産増殖, 第37号, 7号, pp.297-301.  
 塚本勝巳 (2006) : 海洋生物の大航海, 月刊「學術の動向」, (財)日本学術協力財団, 2006年9月号, pp.14-21.  
 中野晋・宇野宏司 (2001) : 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.  
 中野晋・真子昌樹・酒井勝司・北野利一・三井宏 (1997) : 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, 第41巻, pp.283-288.  
 早川典生・細山田得三・西川誠・宝田盛康・犬飼直之 (1995) : 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, 第11巻, pp.103-108.  
 和田恵次 (2000) : 干潟の自然史, 京都大学学術出版会, pp.58-59.  
 Cronin, T. W. and R. B. Forward Jr. (1986) : Vertical migration cycles of crab larvae and their role in larval dispersal, Bulletin of marines science, vol. 39(2), pp.192-201.  
 Lee, J. T., R. A. Coleman and M. B. Jones (2005) : Vertical migration during tidal transport of megalopae of *Necorapuber* in coastal shallow waters during daytime, Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 65, pp.396-404.

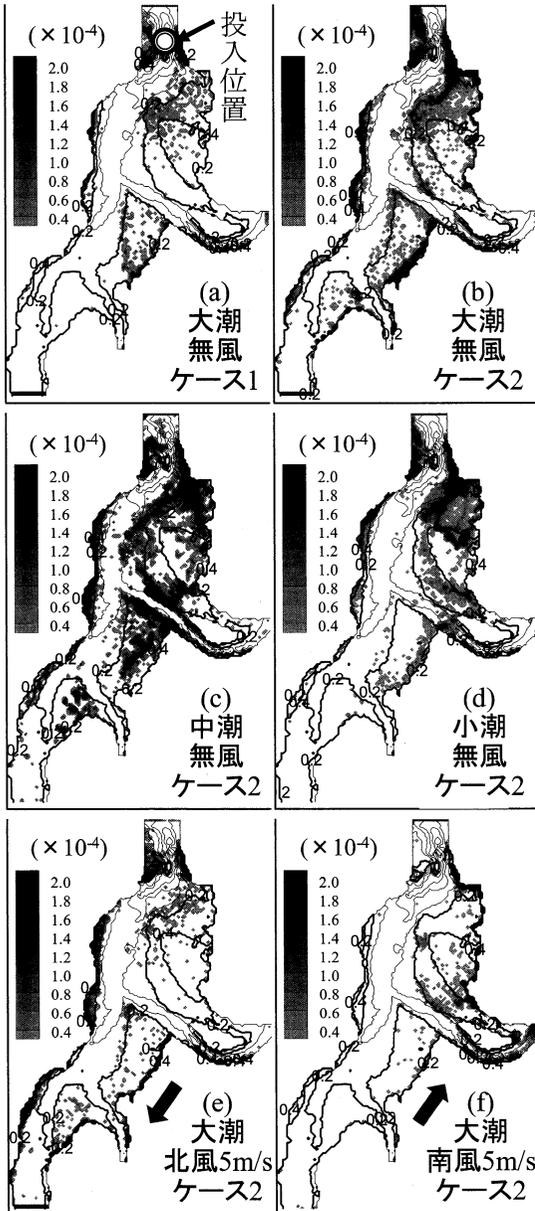


図-6 干潮時におけるトレーサーの着底分布。代表6ケースの計算結果。(グラデーション:無次元化された着底量, 実線:標高[0.2m間隔])