

**平成23-25年度 環境研究総合推進費  
課題番号 4D-1104**

**天草・島原沿岸の地域連携型保全に向けた  
干潟ベントス群集とその生態系機能に関する研究**

**累積予算額：108,726千円(うち、平成25年度予算額：32,278千円)**

**長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科  
玉置 昭夫**

**武田重信・鈴木利一・和田 実・梅澤 有(分担者全員：同上研究科)**

# 研究開発目的

## 1. 干潟ベントス群集と生態系の保全： **観点**を明確にして、政策決定者と地域住民に**提言**

(1) どの年代の干潟が望ましいのか … **これまでの継続調査の知見**を活かす

1970年以前 **➡** 1970年代～1980年代初め（富栄養化） **➡** 1980年代半ば以降（脱富栄養化）

**➡** 1990年代半ば以降（底魚のエイの増加に伴う底質攪乱） **➡** 近未来は（海水温上昇）？

(2) どのような群集組成が望ましいのか

- 干潟の浄化など生態系機能が高い種が優占
  - 種多様度が高い
  - 水産資源が優占
- } **必ずしも両立しない**

(3) どの干潟を重点的に保全すべきか

- ベントス個体群の大きさ・ **浮遊幼生の輸送により結ばれる干潟のネットワーク**に着目して抽出

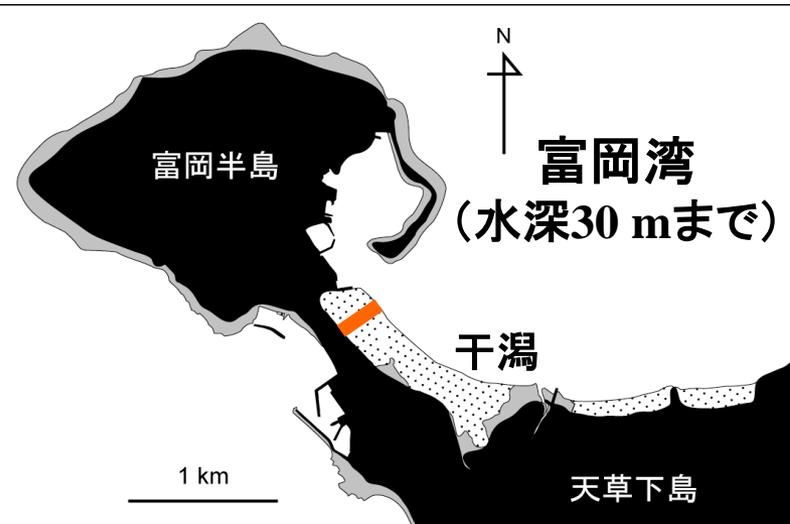
(4) 干潟の沖合い海域も含めるべき

- ベントス **幼生の発育・輸送の場**として重要

## 2. 海水温上昇の影響予測

- **新しい視点**： ベントス幼生期間の短縮により、干潟への回帰の時機を逸する可能性

研究地: 有明海湾口部～橘湾～天草灘; 最大の砂質干潟: 富岡湾干潟



# スナモグリ(十脚甲殻類)

砂質干潟のベントス群集で  
圧倒的に優占

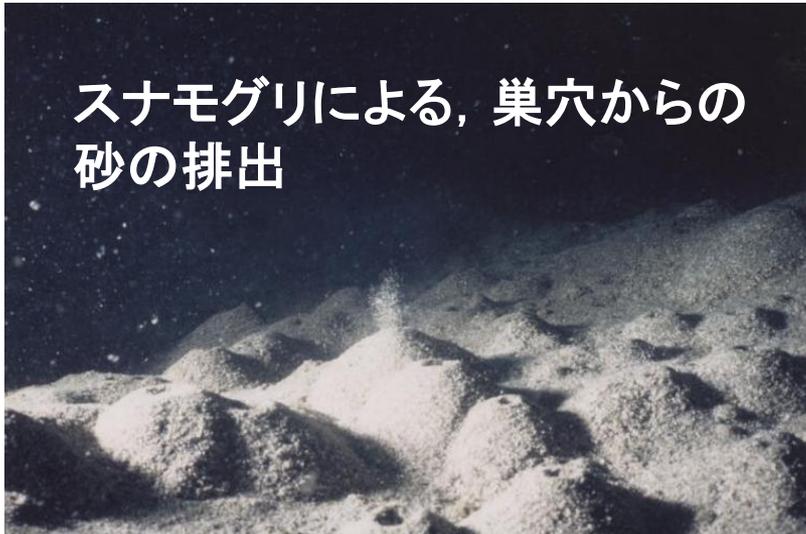


高密度になると、基質攪拌によって  
砂柱全体を酸化状態にし、  
有機物の好氣的分解(底質浄化作用)を  
促進する潜在力をもつ



# スナモグリ類はろ過食の二枚貝と巻貝に加害する

スナモグリによる、巣穴からの砂の排出



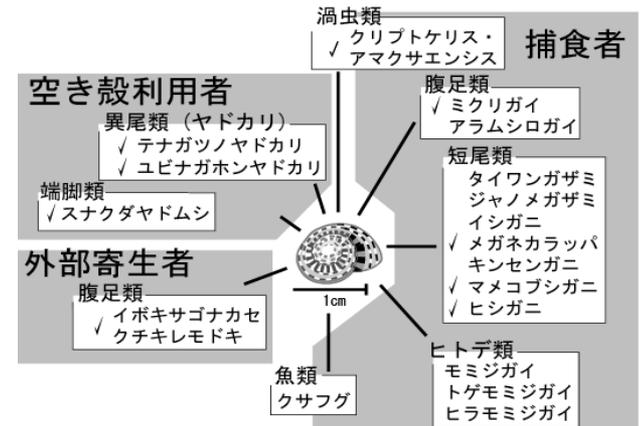
イボキサゴ(巻貝):  
 ・群集形成の鍵を握る  
 ・水質浄化機能をもつ

平均密度  
 $2,500 \text{ m}^{-2}$   
 (最高密度  
 $10,000 \text{ m}^{-2}$ )

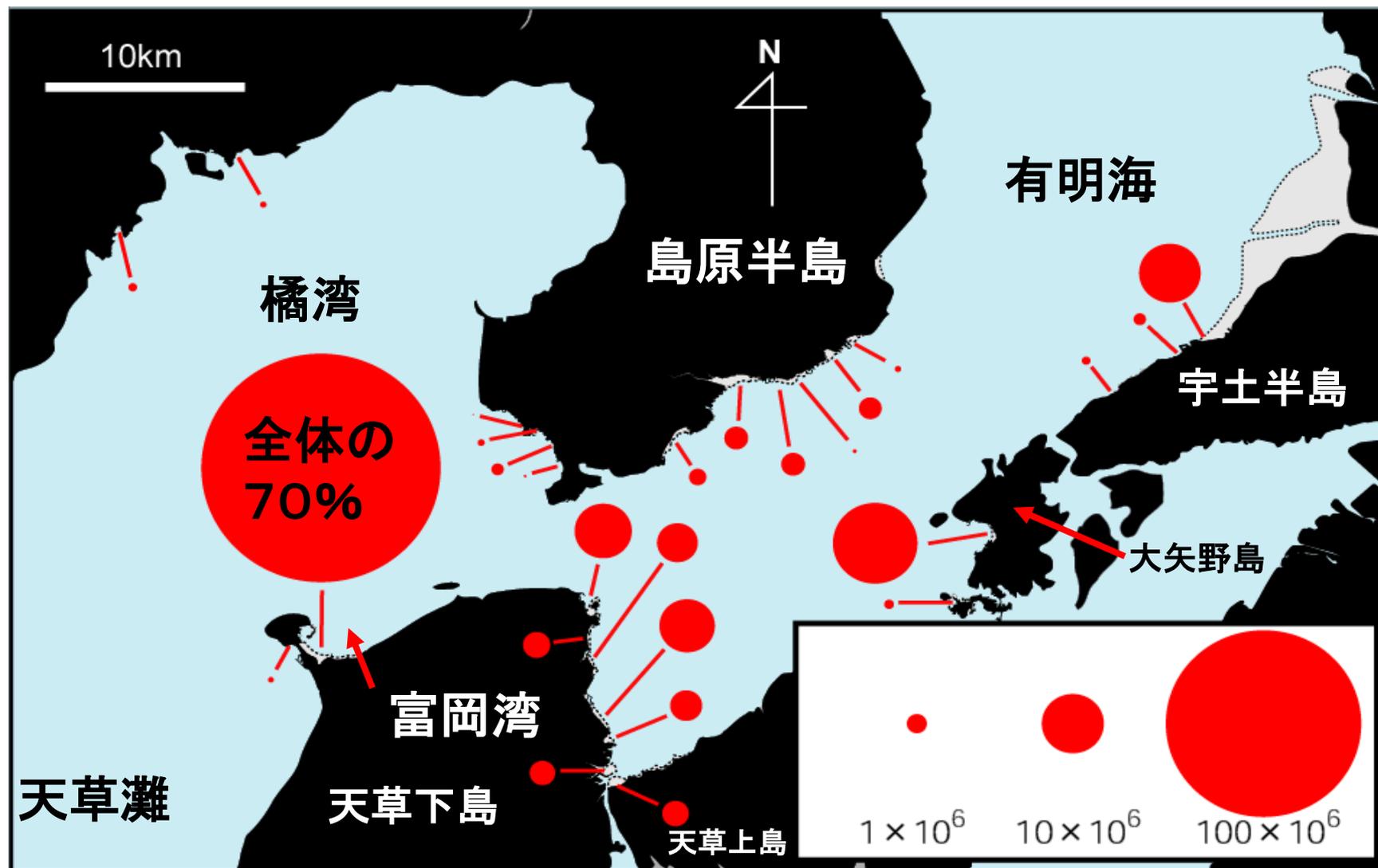


イボキサゴと付随種群

局所個体群  
 の絶滅・  
 ベントス群集  
 の種多様度  
 低下



# 主要なスナモグリ局所個体群(計26個)の推定サイズ



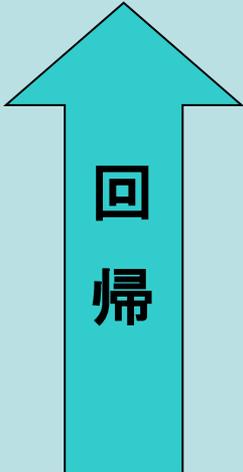
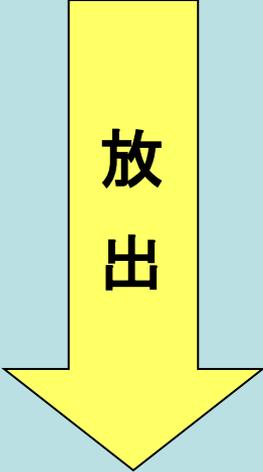


スナモグリ抱卵個体

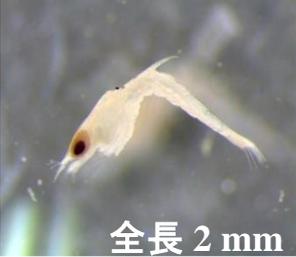
干潟

天草灘(内部陸棚域)を含む外海

浮遊幼生の生残と輸送過程が  
干潟個体群の大きさに影響  
… 多くの十脚甲殻類幼生の動態を代表



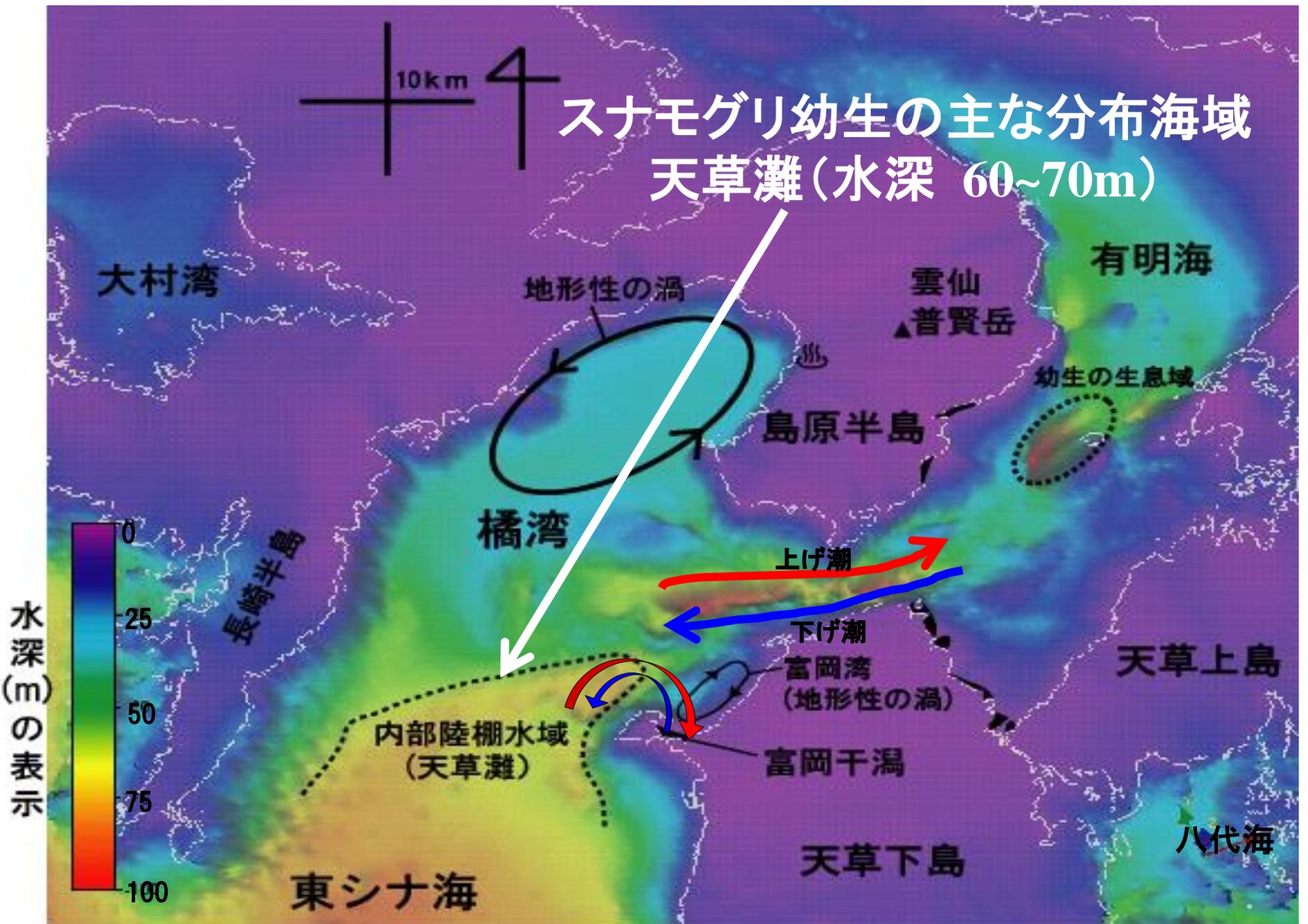
ゾエア1~6期+デカポディッド期 (夏季:4週間)



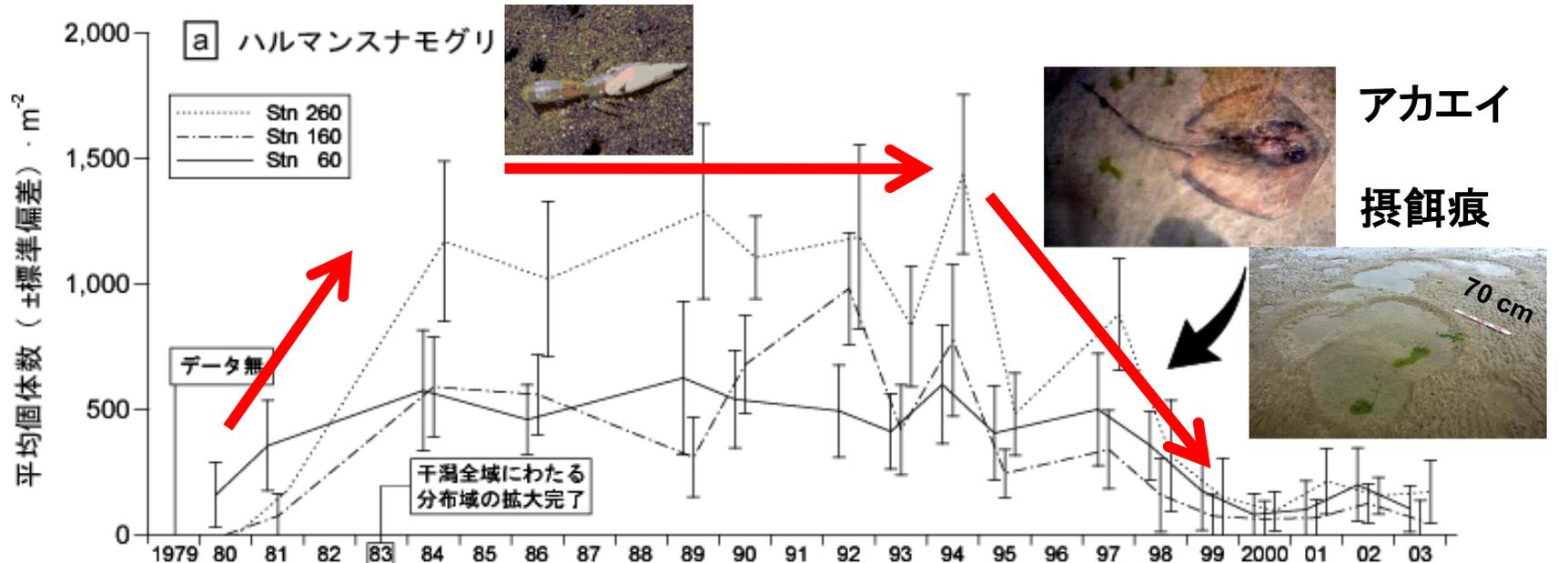
全長 2 mm



全長 4 mm



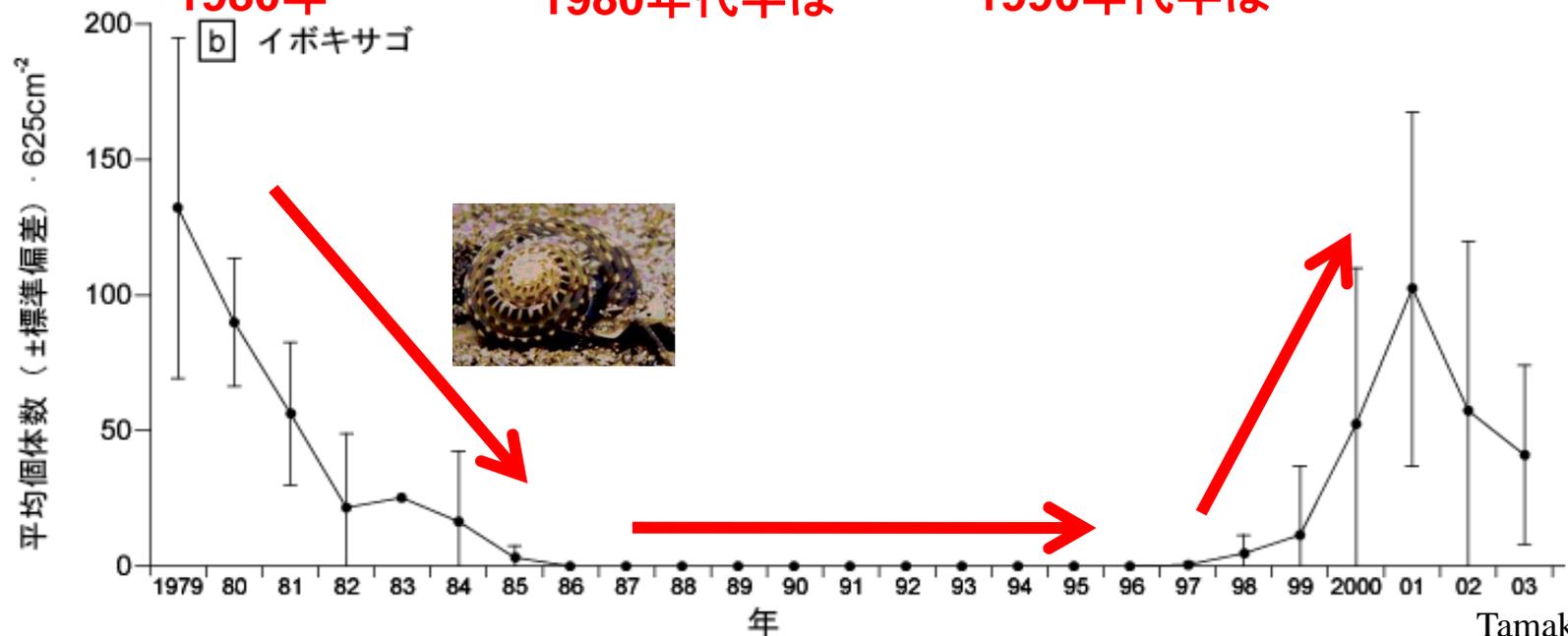
# 富岡湾干潟のスナモグリ・イボキサゴ密度の経年変化



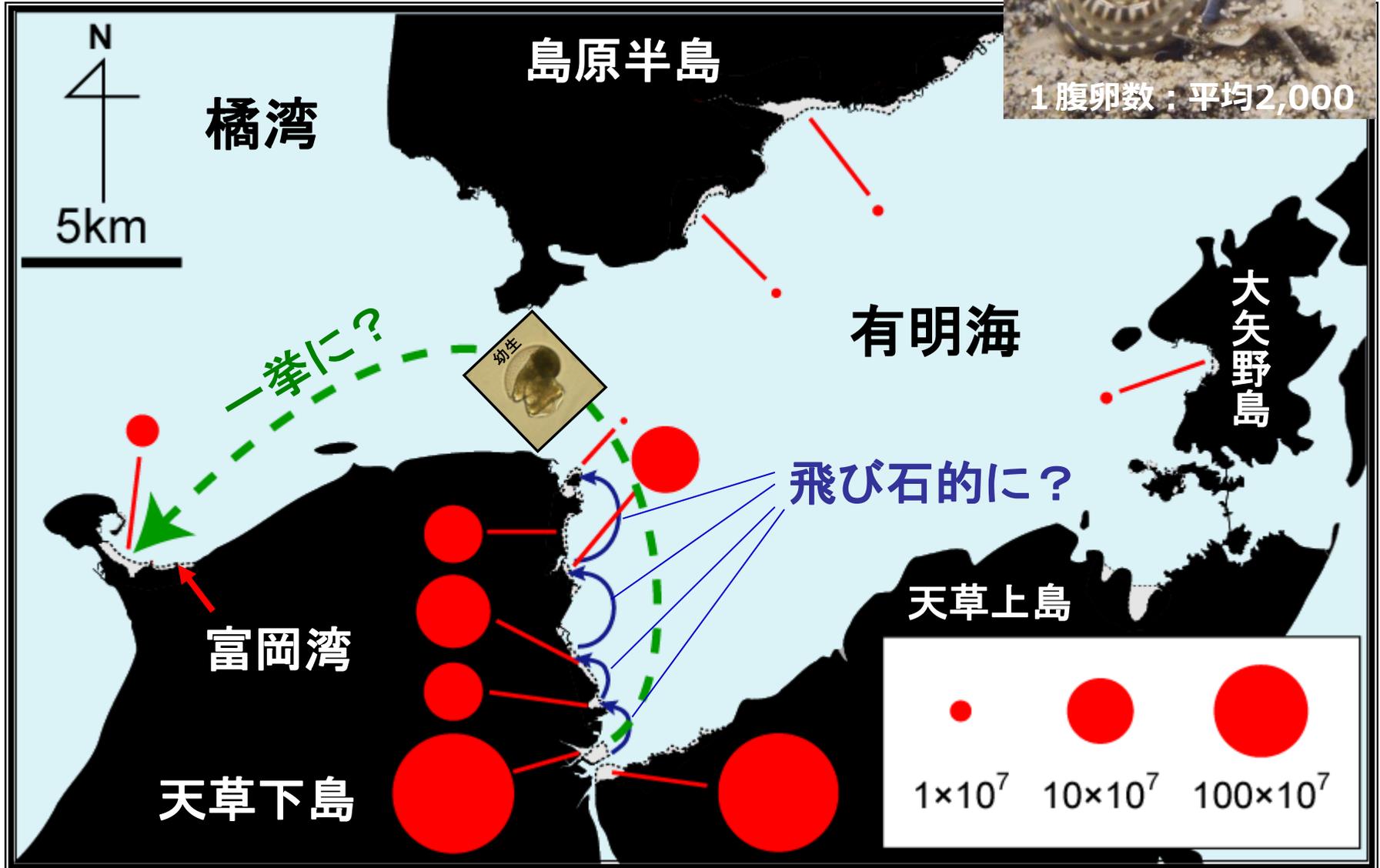
1980年

1980年代半ば

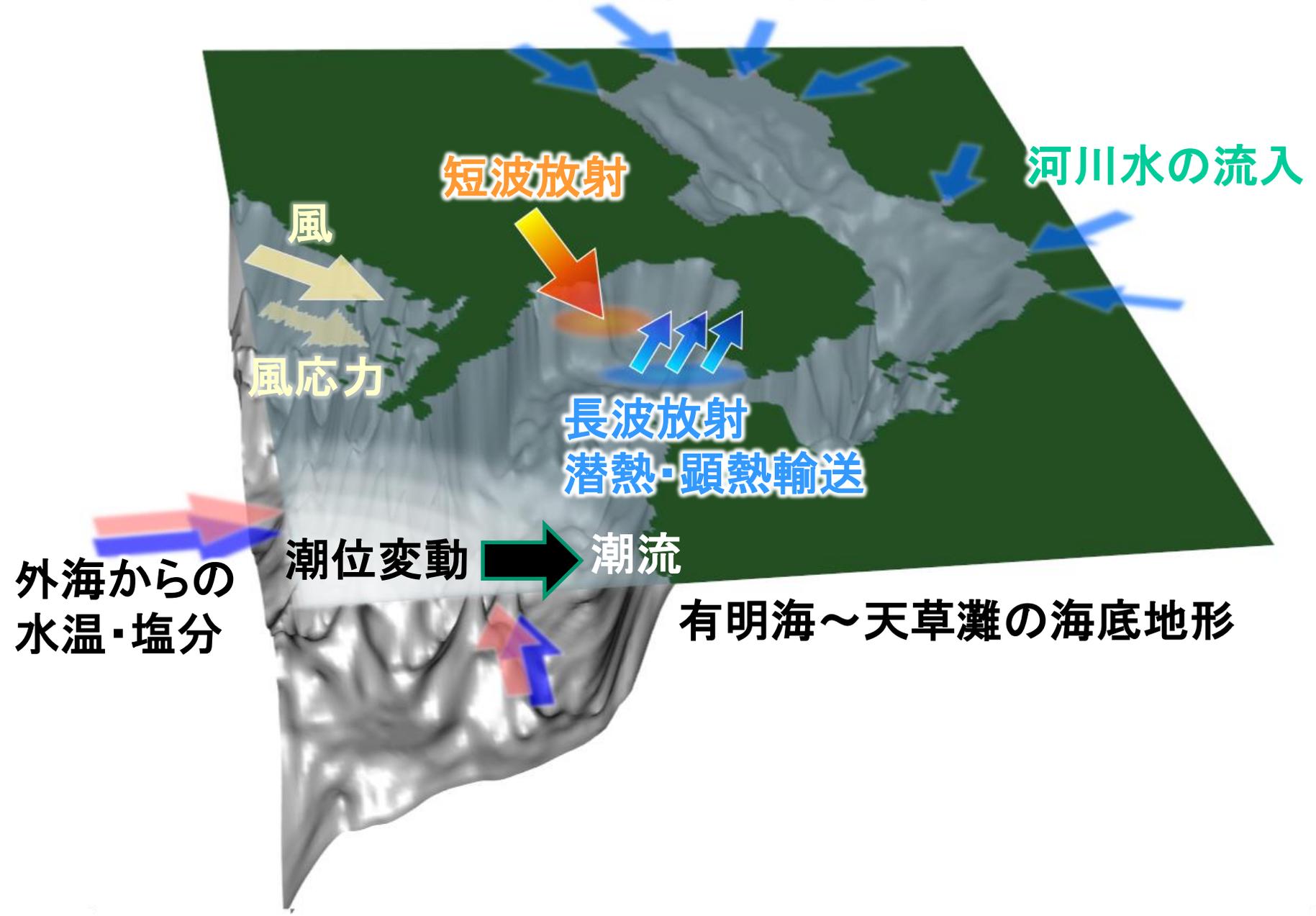
1990年代半ば



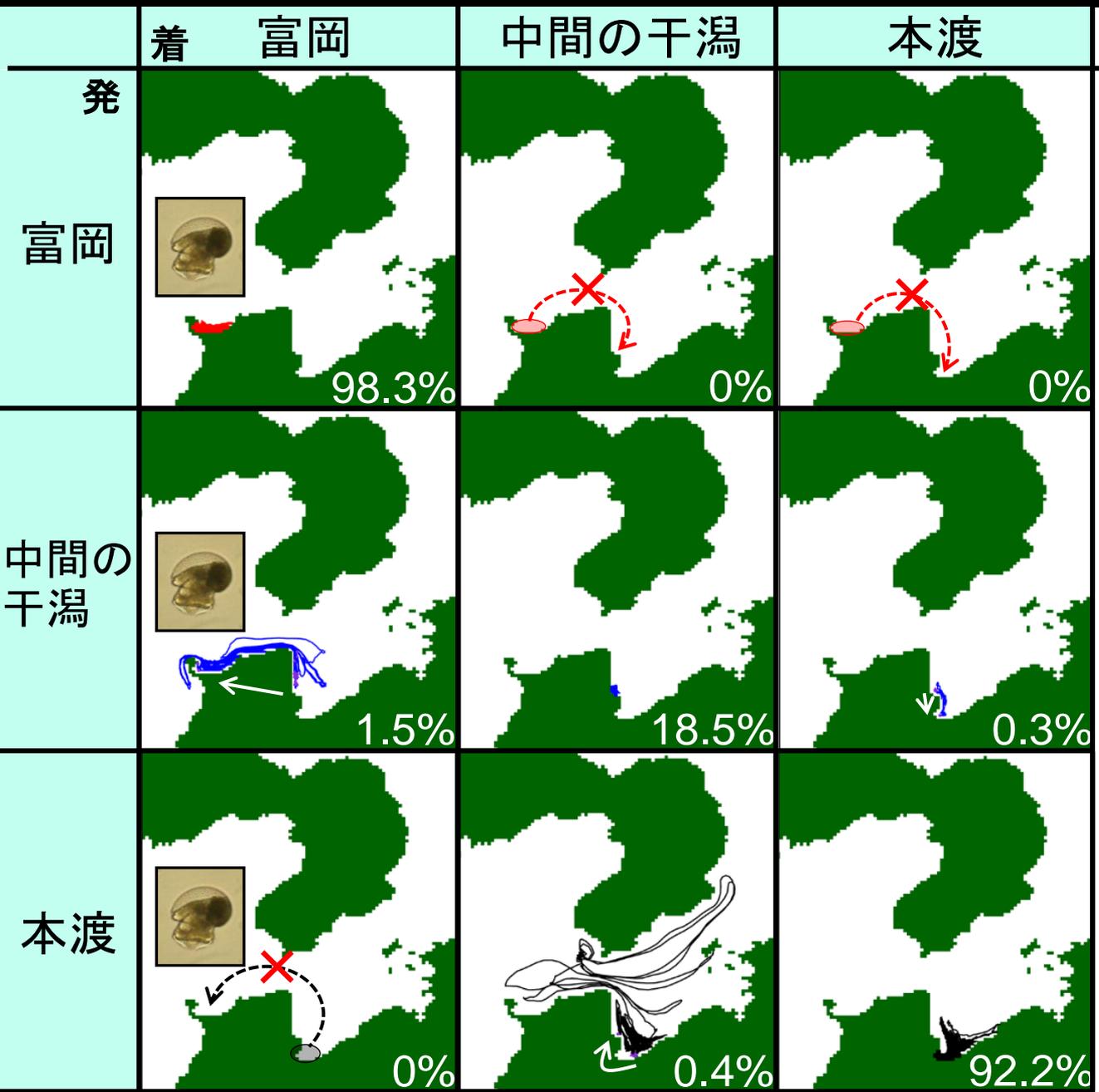
# 各干潟のイボキサゴの推定総数(赤丸)と幼生の潜在的輸送経路(3~9日間;非摂餌型)



# Princeton Ocean Model (POM)による海水流動場と 幼生粒子輸送の数値実験



# イボキサゴ幼生輸送(POMによる軌跡): 流れが弱い小潮時に干潟から放出



**自己回帰率**

- ・富岡 98.3%
- ・中間の干潟 18.5%
- ・本渡 92.2%

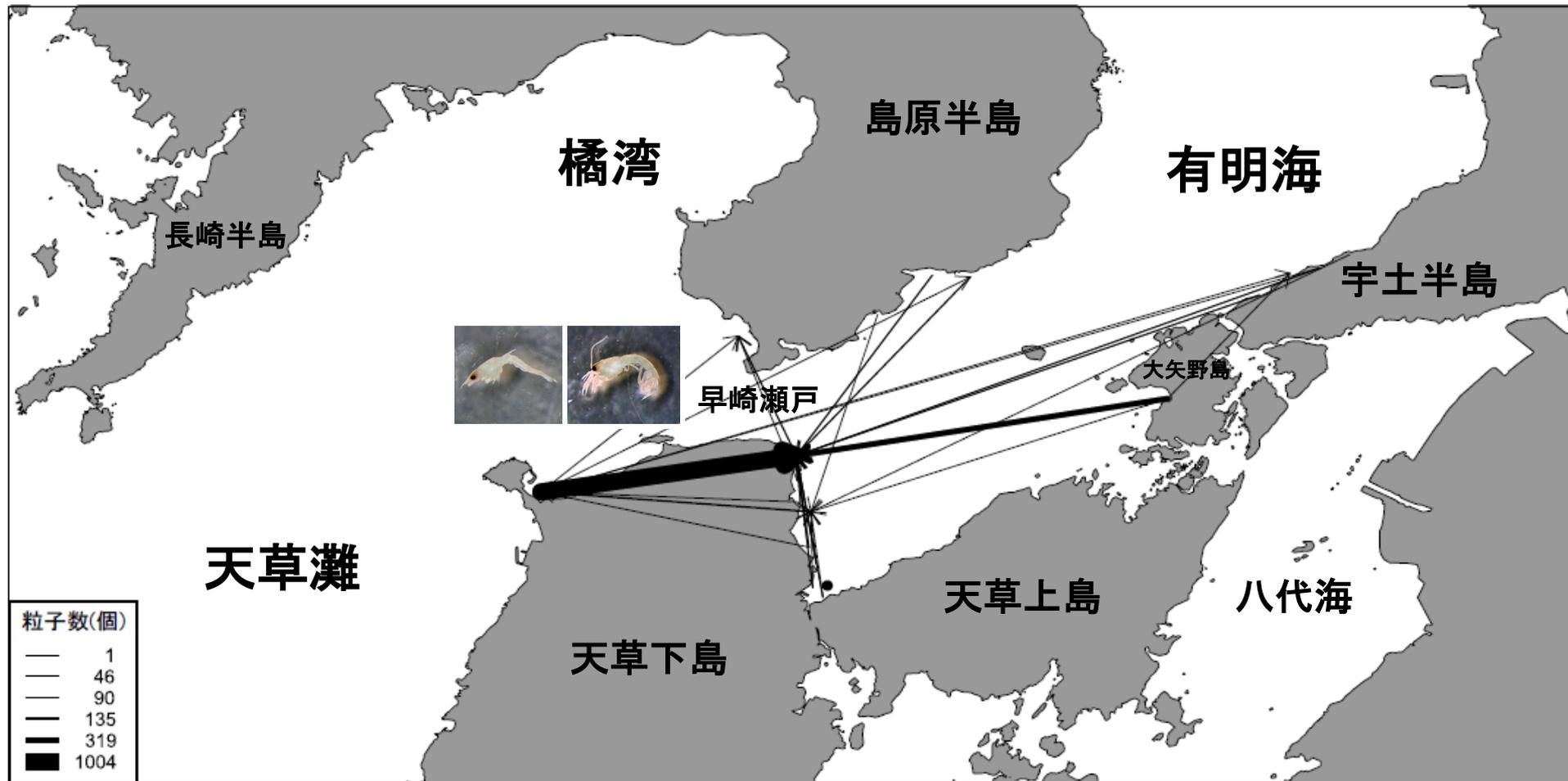
主に自己回帰によって個体群を維持している

**移動日数**

- ・中間の干潟 → 富岡  
1.4 ~ 5.2 (3.1) 日
- ・中間の干潟 → 本渡  
3.1 日
- ・本渡 → 中間の干潟  
4.2 ~ 6.7 (5.1) 日

**中間の干潟から出発 → 浮遊幼生期間内に他の干潟に到着**

# スナモグリ幼生の輸送を介した干潟個体群間のネットワーク (POMにより計算された到達個体数)

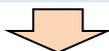


- ・1994年7月22日に干潟から“幼生”粒子放出; 富岡湾干潟から1万個; 他の干潟から4300個。
- ・浮遊期間: 25~35日間(30日間でデカポディッド期に達する 경우가最も多い)。生残率100%。
- ・海峡部の小干潟に達する粒子数が最大だが、成体個体群は小さい。干潟面積は拡大可能?
- ・橋湾には幼生は輸送されるが、受け入れる干潟がほとんどない。

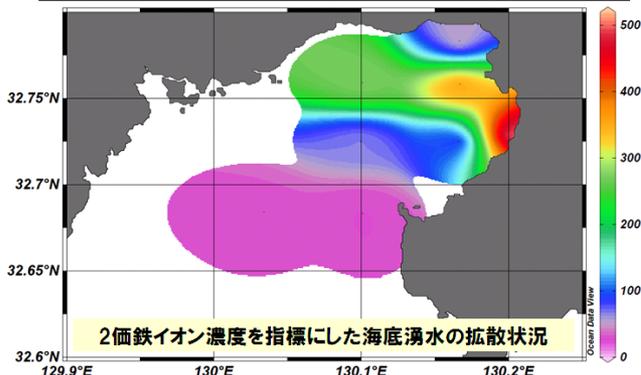
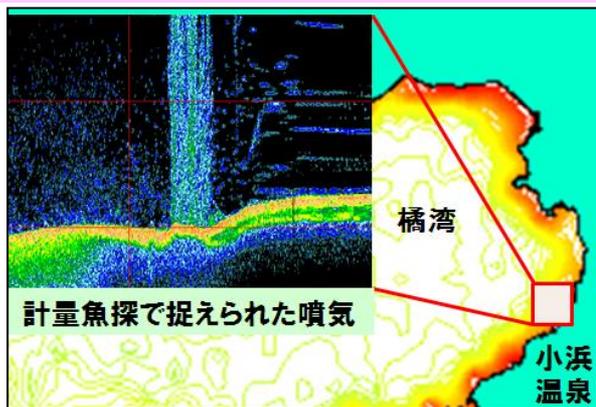
# 橘湾(渦流域): ベントス浮遊幼生の墓場仮説の検証

温泉水や海底湧水に含まれる還元性化学物質がベントス幼生に致死的に作用する?

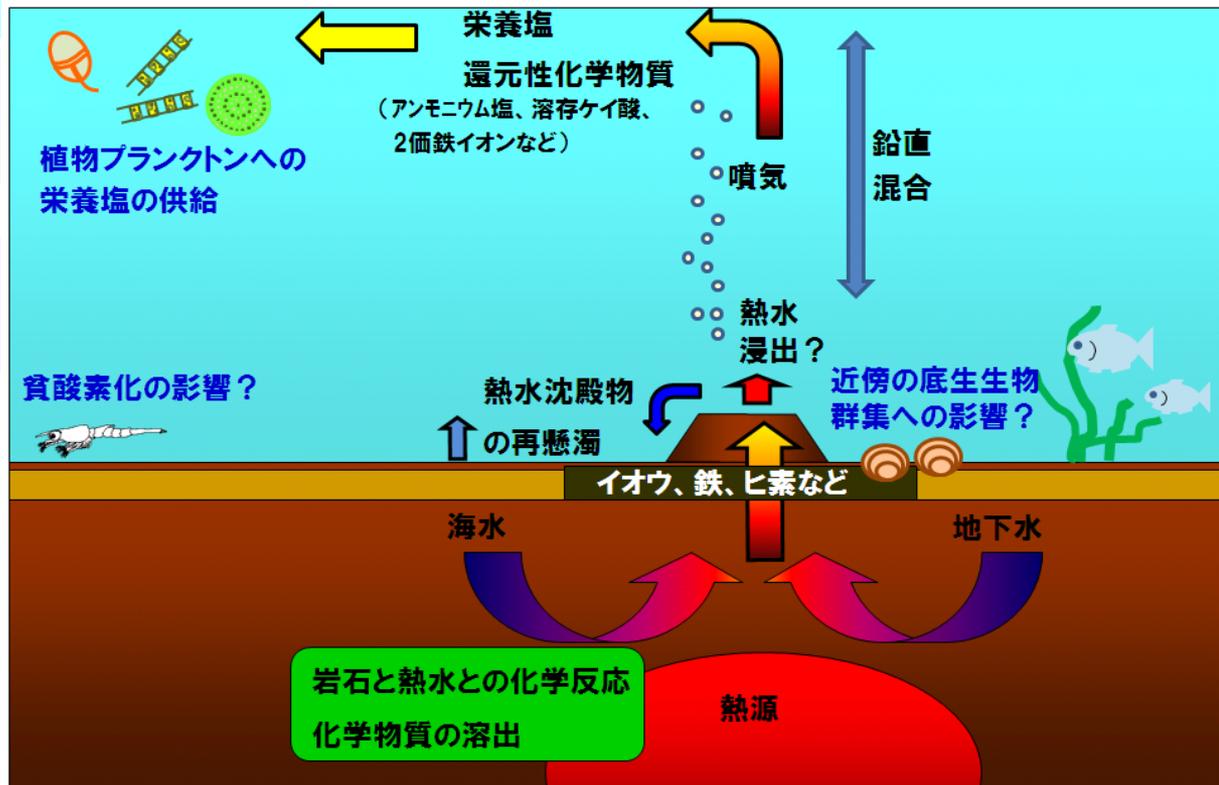
還元性化学物質・貧酸素水塊等の動態解明



ベントス浮遊幼生の個体群の拡大・縮小に及ぼす影響評価

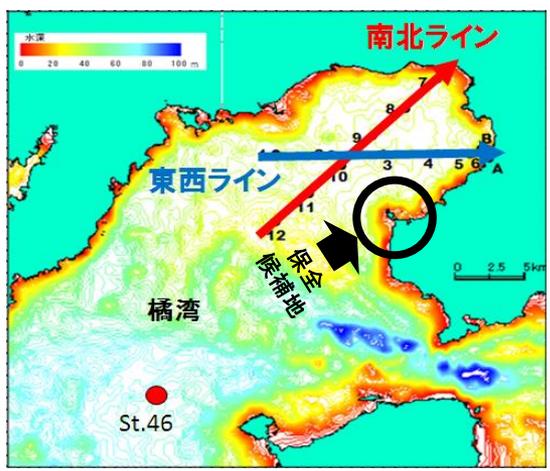


## 橘湾小浜沖の浅海熱水系(海底湧水)



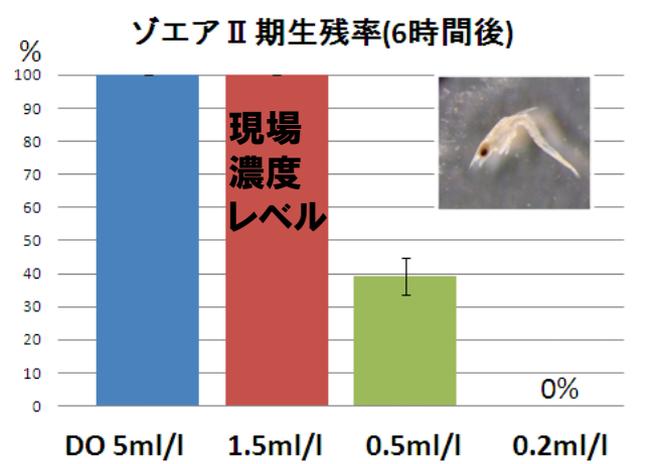
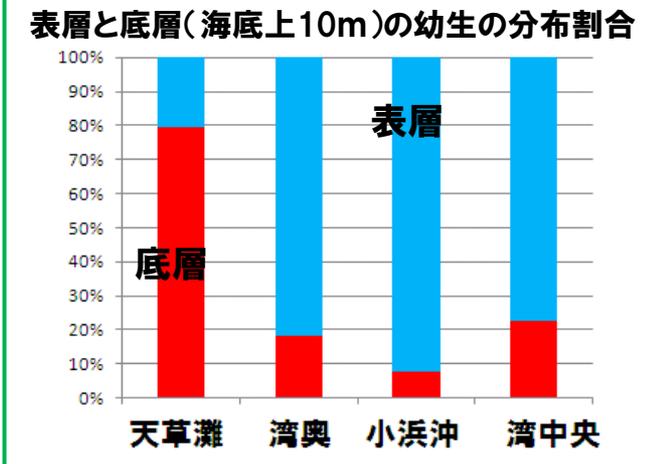
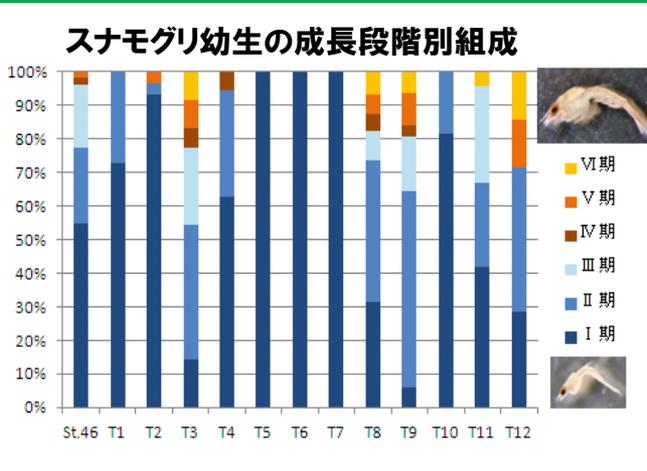
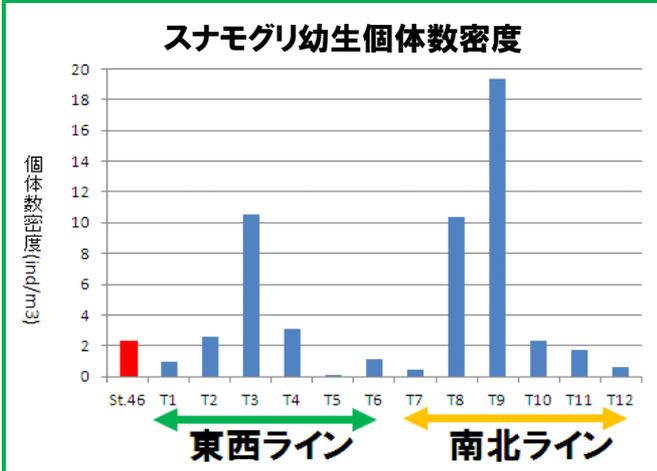
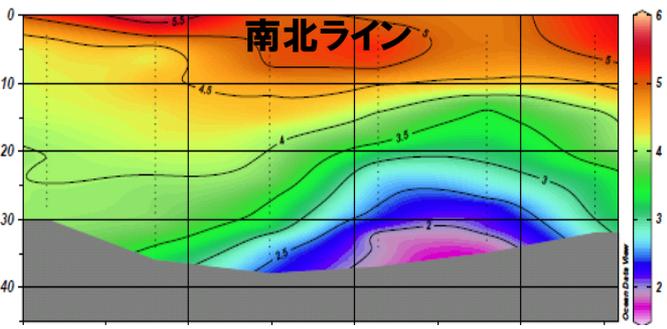
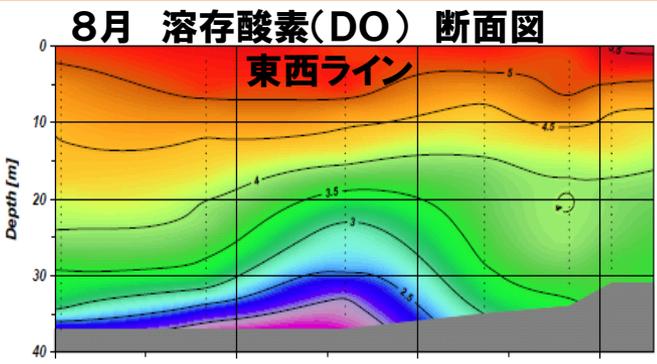
- 海底噴気・高温堆積物を小浜温泉沖の斜面で観測
- 温泉水や海底湧水に含まれる還元性化学物質の拡散は小浜沿岸域に限定的
- 貧栄養な初夏には、局所的な栄養塩の供給源となり、植物プランクトン増殖に寄与していた可能性

# ベントス浮遊幼生の墓場仮説の検証 ➡ 保全砂質干潟候補地

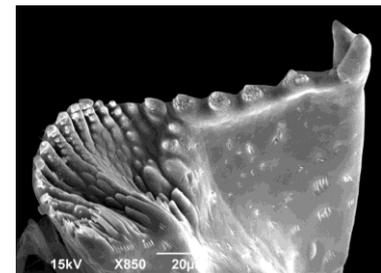
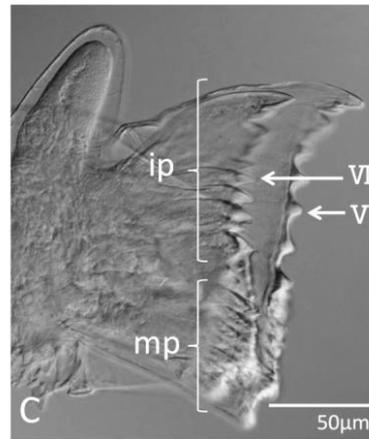
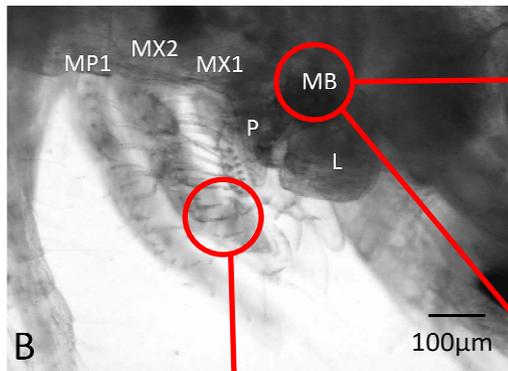
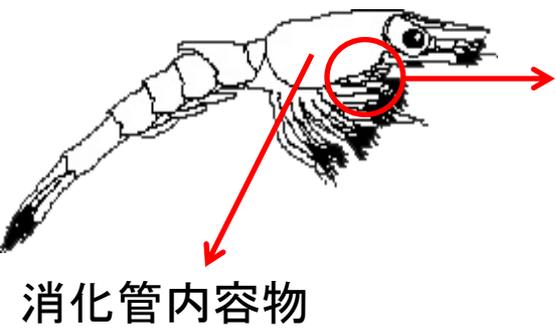


- 湾奥の海底に高密度水が滞留し、貧酸素化
- 幼生は湾内に広く分布
- 成長段階後期の幼生出現
- DO濃度の低い底層にも認められる
- 現場のDO濃度レベルでは生残への影響は小さい
- 湾奥部の還流、成長と潮汐周期のずれ等によって干潟への回帰が抑制？

~~温泉水や海底湧水に含まれる還元性化学物質がベントス幼生に致命的に作用する？~~

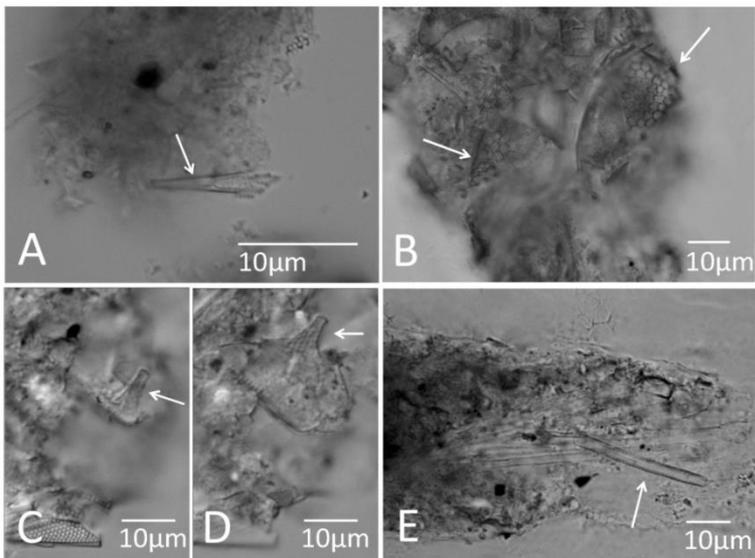


# <スナモグリ幼生の食性> 消化管内に珪藻を確認。珪藻摂餌に好都合な形態が第二小顎や大顎に見られる。⇒ 珪藻摂餌は恒常的



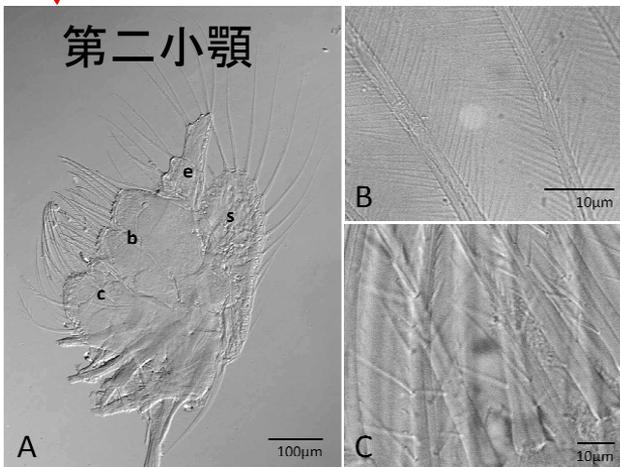
臼歯が発達  
草食性の特徴

使用中の門歯(ゾエアV): 摩耗して鈍い  
次のステージで使われる門歯: 鋭利  
⇒ 硬い物(珪藻)を食べている可能性



消化管に内容物が存在する個体の、97.5%で珪藻の被殻(あるいは、被殻の断片)を確認

## 第二小顎



刺毛が密生  
⇒ 植物プランクトンを濾し取る可能性

# 餌候補となるサイズの浮遊珪藻量： 充足している時と不足する時がある

微小プランクトンの現存量、ゾエア幼生の餌収集能、および、餌集収能と餌要求量の量的な関係。ゾエア幼生VI期の餌要求量は、 $260 \times 10^6 \mu\text{m}^3 \text{ indiv.}^{-1} \text{ day}^{-1}$  (ゾエア幼生の個体体積増加率と、総成長効率=30%を使用して算出)。

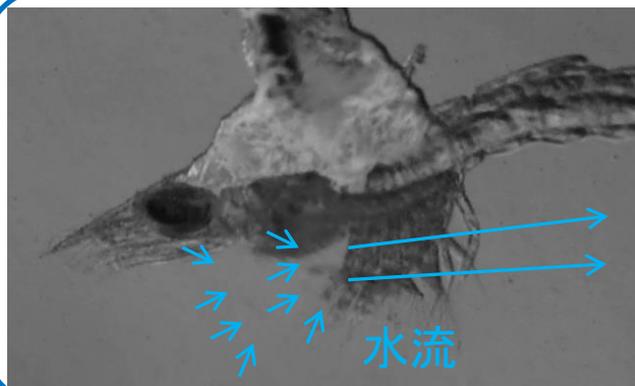
調査日	微小プランクトン(20~40m深)		ゾエア幼生の餌収集能 ( $\times 10^6 \mu\text{m}^3 \text{ indiv.}^{-1} \text{ day}^{-1}$ )	餌収集能 > 餌要求量を満たすか？	
	現存量 ( $\times 10^6 \mu\text{m}^3 \text{ mL}^{-1}$ )	優占分類群		ゾエアVI期	
2011年 6月21日	0.038 - 1.6	珪藻類	31 - 1300	× - ○	
7月23日	3.3 - 9.6	珪藻類・カイアシ類 ノープリウス幼生	2700 - 7900	◎ - ◎	
8月10日	0.20 - 0.58	珪藻類	160 - 480	× - ○	
2012年 8月7日	0.15 - 0.18	珪藻類	120 - 150	× - ×	
8月9日沿岸	0.21 - 3.7	珪藻類	170 - 3000	× - ◎	

検鏡で把握

$\times 820$

◎: 余裕を持って満たす(一桁以上余裕)、○: 満たす、×: 満たさない

< 一個体が1日当たりに濾過する水量 =  $820 \text{ mL/indiv./day}$  >



瞬間接着剤を用い、ゾエアV~VIを毛髪で固定。  
赤外線照明下でビデオ撮影し、映像を解析。

水流の付属肢通過速度  $13 \text{ mm/s}$  と、付属肢の断面積  $0.73 \text{ mm}^2$  より、付属肢通過水量  $820 \text{ mL/indiv./day}$  を算出。

# 安定同位体比食物連鎖解析の詳細なアプローチを実施

## 1) 飼育実験で濃縮係数と体内への反映時間算出



ワムシ摂食時の濃縮係数:  $\Delta\delta^{13}\text{C} = 0.5 \text{ ‰}$ ,  $\Delta\delta^{15}\text{N} = 3.2 \text{ ‰}$



珪藻摂食時の濃縮係数:  $\Delta\delta^{13}\text{C} = 1.9 \text{ ‰}$ ,  $\Delta\delta^{15}\text{N} = 1.7 \text{ ‰}$

(体内成分が置き変わる期間: 20日)

## 2) 現場の幼生を20日程度経過後のV, VI期のみ選出

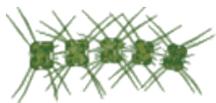
## 3) アミノ酸同位体比を組み合わせた解析

$$\text{グルタミン酸の}\delta^{15}\text{N} - (\text{フェニルアラニンの}\delta^{15}\text{N} + 3.4) / 7.6 + 1 = 2.1$$

➡ 栄養段階が**2.1**であり、植物プランクトン食と判明

## 4) 餌として生物に加え、沈降粒子(珪藻含有量大)に着目

## 5) 植物プランクトン分解実験で分解過程の $\delta^{13}\text{C}$ & $\delta^{15}\text{N}$ 算出



$$\Delta\delta^{13}\text{C} = -0.07 \sim -0.22 (\text{‰/day})$$

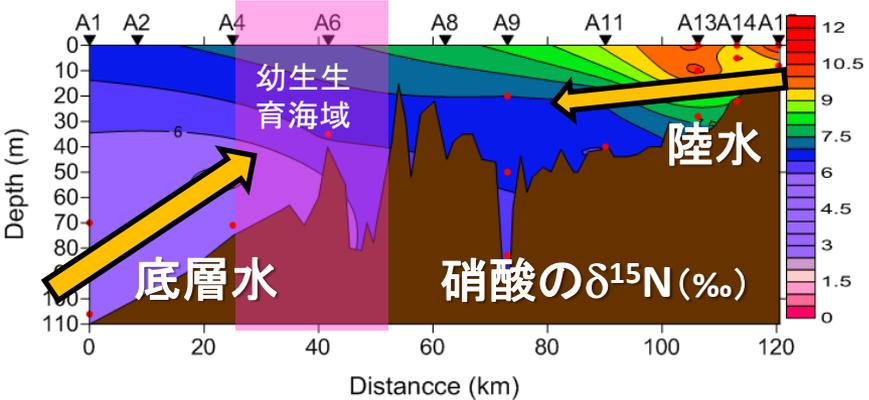
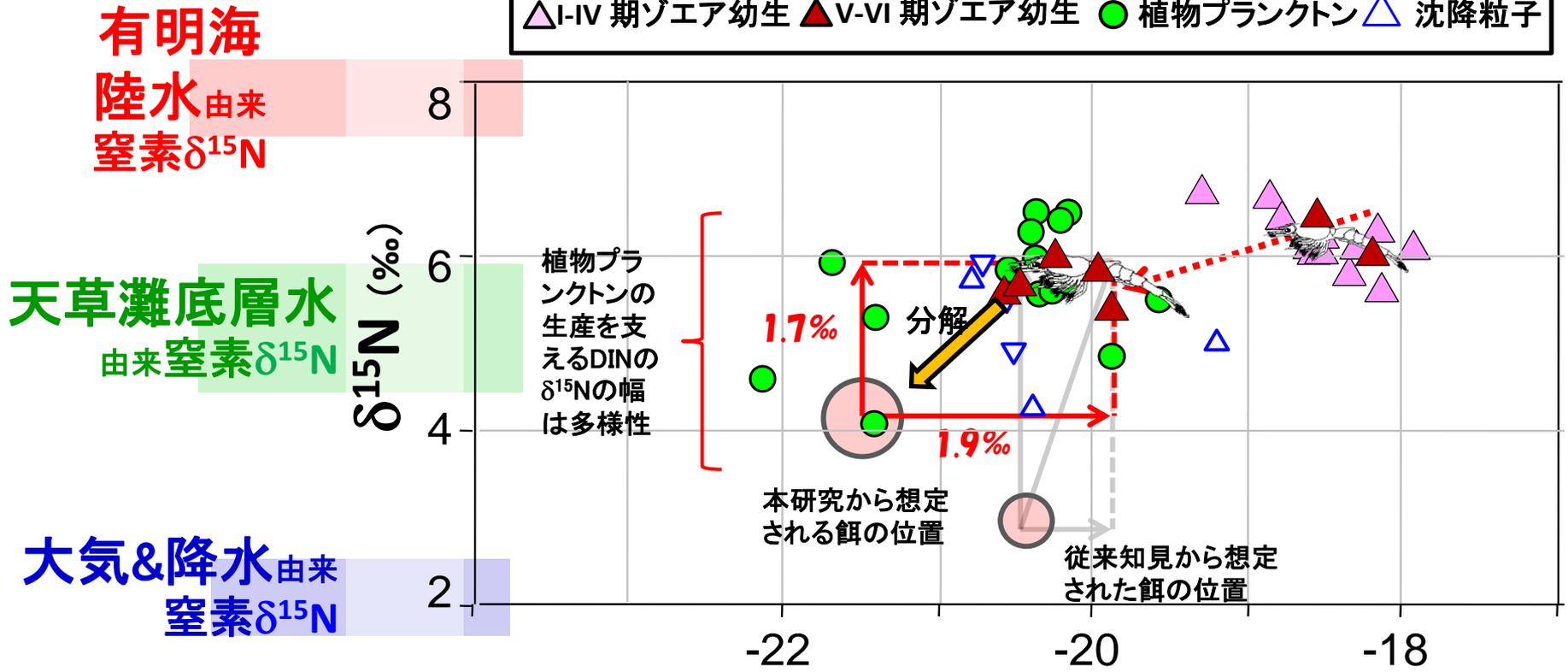
$$\Delta\delta^{15}\text{N} = -0.18 \sim -0.45 (\text{‰/day})$$

分解に伴い減少



# 同位体比も現場ゾエア幼生の植物プランクトン食性を支持 (腐植物も含む)

△ I-IV 期ゾエア幼生 ▲ V-VI 期ゾエア幼生 ● 植物プランクトン △ 沈降粒子



**有明海の湾口部は、降水を含む多様な起源の栄養塩で支えられた食物連鎖系であり、餌環境の面では、温暖化等の環境変化に対しても強固な恵まれた海域。**

# 水界生態系像を見直す 必要： 栄養段階での ベントス幼生の帰属



十脚甲殻類幼生  
||  
大型動物プランクトン

## 珪藻食者(一次消費者) の場合

- 大量降雨後に発生する植物プランクトンの大増殖を抑制？
- 有機物(十数 μm)がベントス幼生(数mm)へ直接転送  
⇒ **低次から高次栄養段階(アジ・サバ⇒ハンドウイルカ等)への転送効率が高まる**

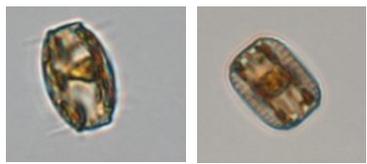
## 小型動物プランクton



## 動物プランクton食者(二次消費者)の場合

- 一次生産者の制限要因である小型動物プランクtonが減少
- トップダウン(間接)影響が起こる？  
⇒大量降雨後の植物プランクton大発生促進

## 植物プランクton



梅雨時の降雨量増加



干潟へのスナモグリ幼生の回帰率上昇

(スナモグリの繁殖盛期は夏季; 1989~2012年のデータは(2)(ボトムアップ影響)を支持)

降雨量が増えると、有明海に注ぐ河川流量が増え、

(1) 河川流量 有明海の密度流 天草灘の底層水 干潟への輸送量増加

増加



強化



有明海方向へ  
輸送強化



デカポディット期

(2) 河川流量 有明海に流入する  
栄養塩量 浮遊珪藻量

増加



増加



増加

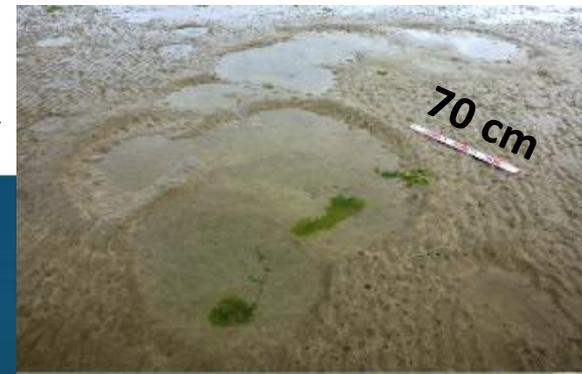


生残率の上昇



ゾエア期

# エイ摂餌痕の空撮



実機ヘリコプター

撮影日

2012年8月17, 18日の最干潮時

高速船発着場

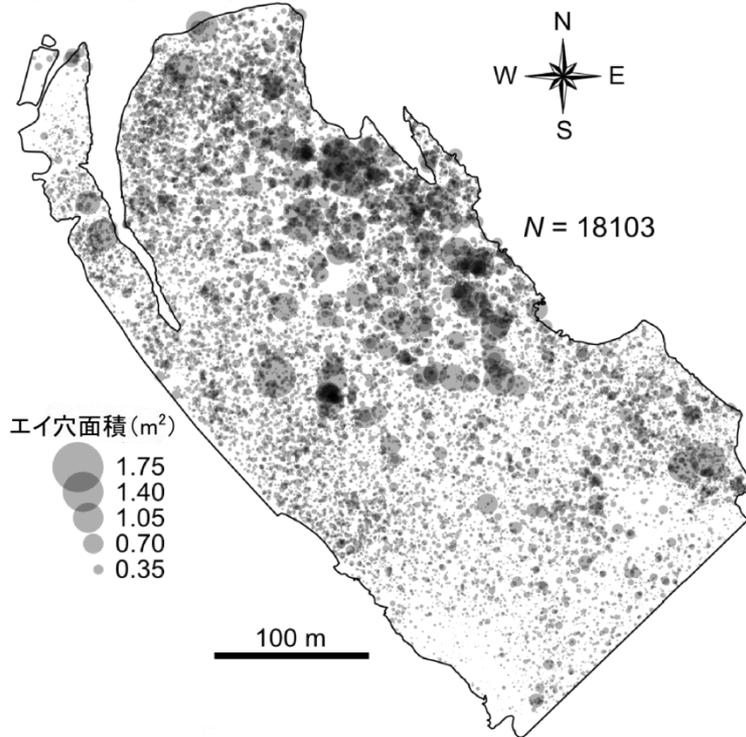
撮影範囲

11 ha

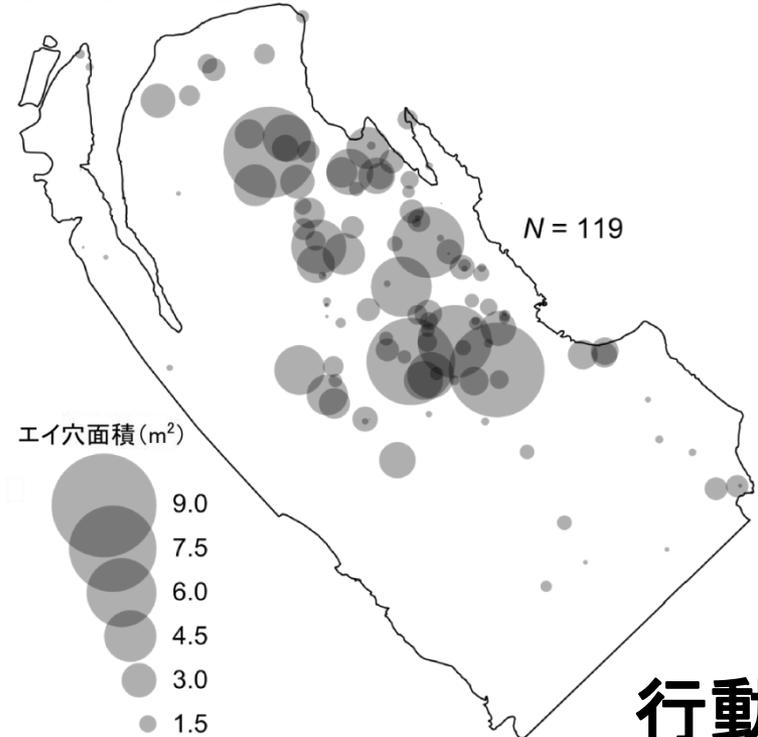


# エイ穴の空間分布

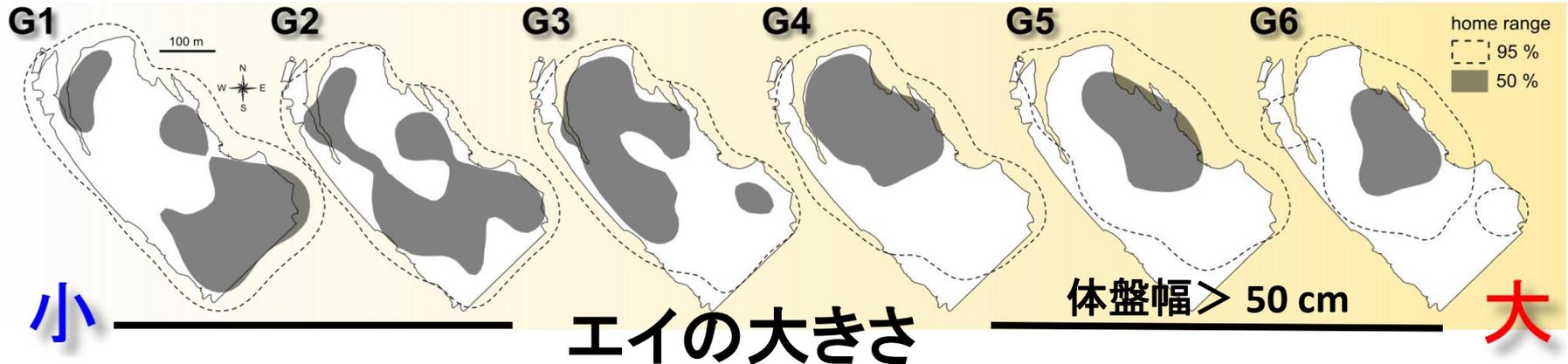
エイ穴(深い部分)



エイ穴(浅い部分)



行動圏

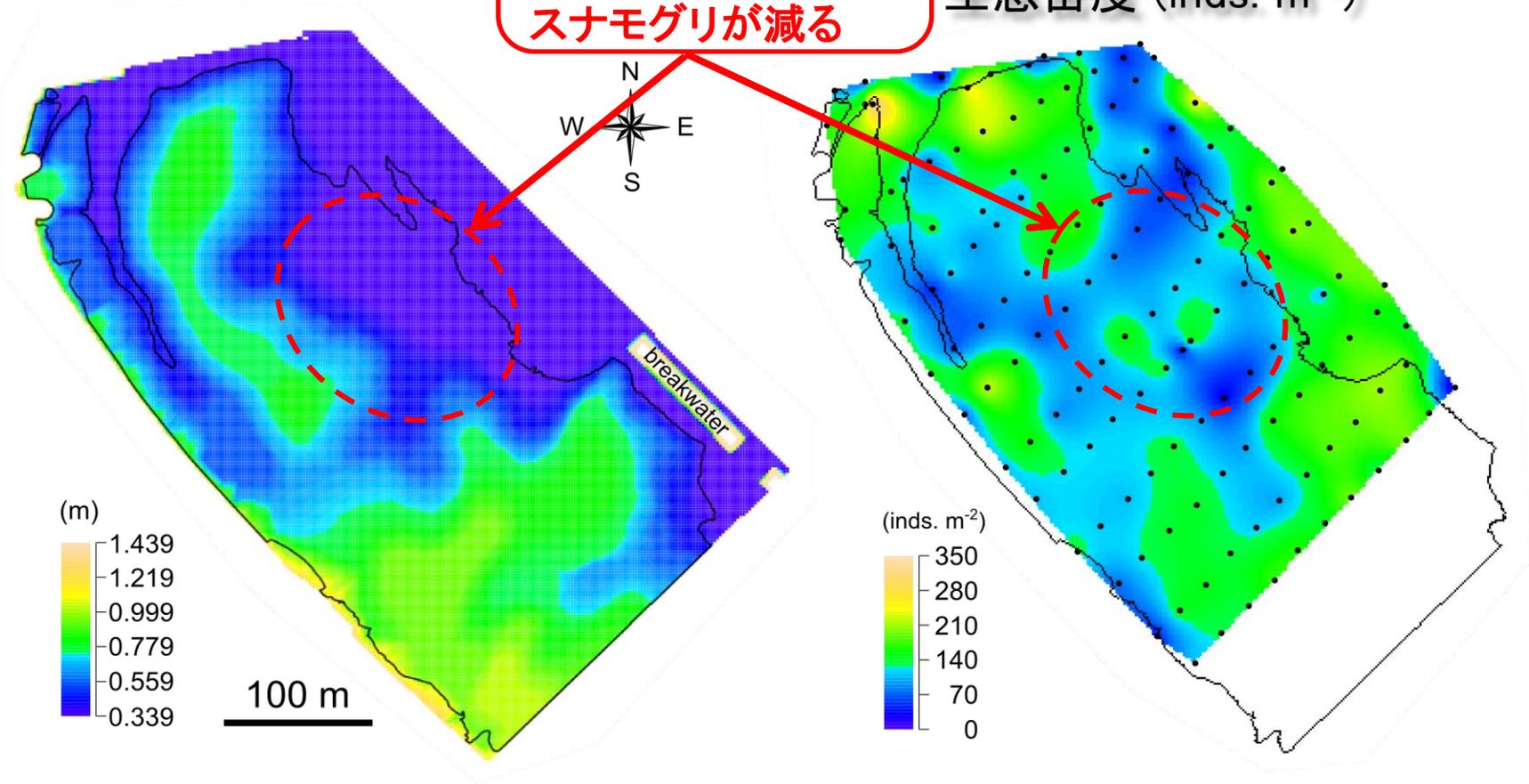


# 環境データ

地盤高 (m)

低地盤で砂の厚さが  
薄い所が大型エイの  
攻撃を繰り返し受け、  
スナモグリが減る

ハルマンスナモグリ  
生息密度 (inds. m<sup>-2</sup>)

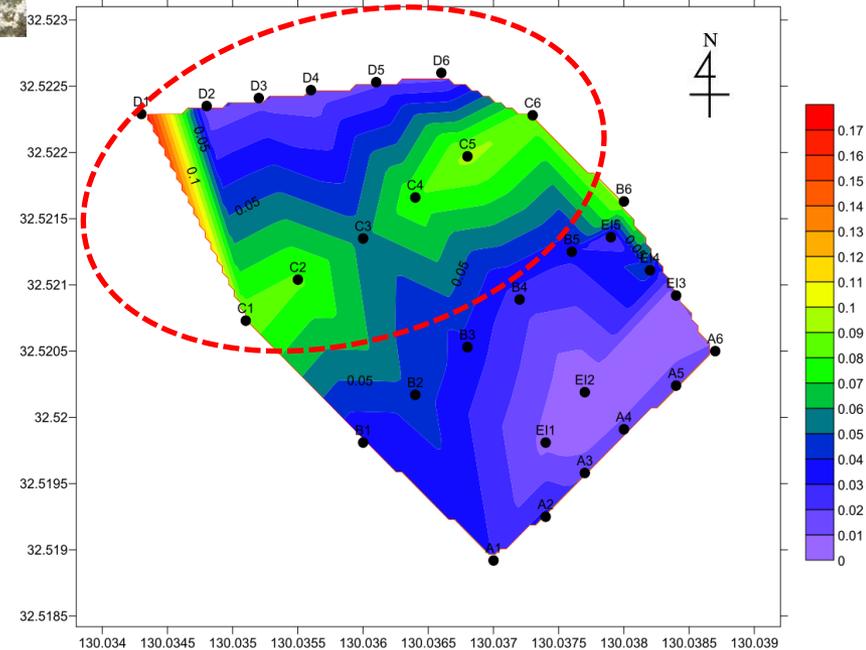
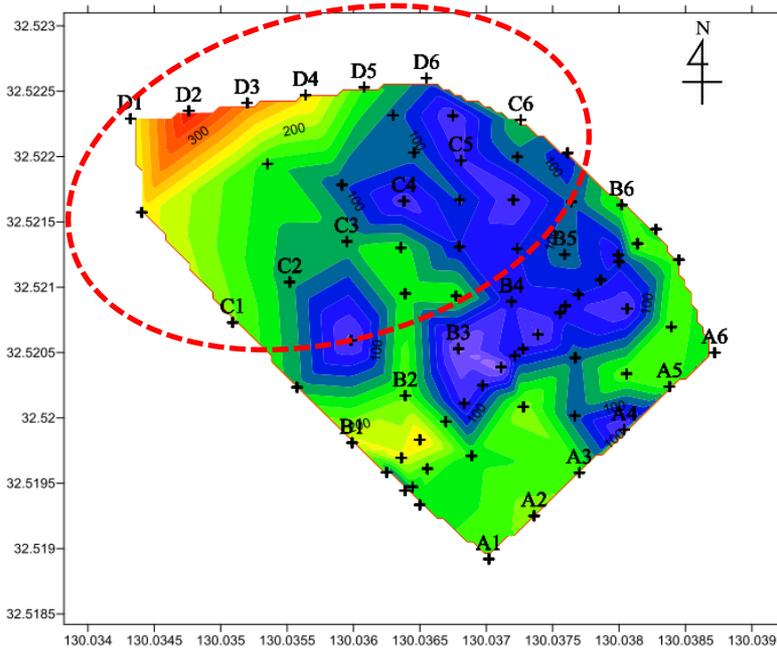


# スナモグリの低密度域における還元性物質の蓄積

スナモグリの分布密度  
(個体  $m^{-2}$ )



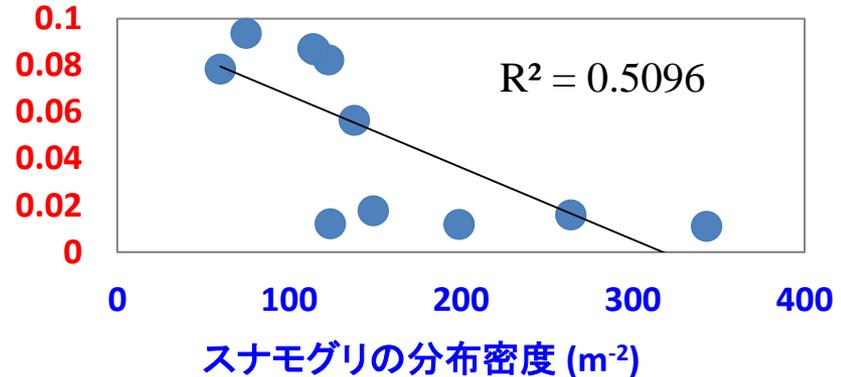
還元物質による酸素消費  
( $\mu mol O_2 g^{-1} day^{-1}$ )



密度が低い場所では還元物質による酸素消費が多い。

密度が高い場所では還元物質による酸素消費が少ない。

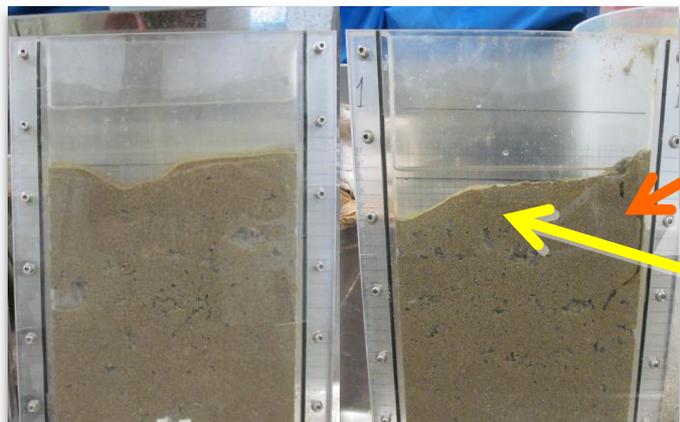
還元物質による酸素消費  
( $\mu mol O_2 g^{-1} day^{-1}$ )



# スナモグリの巣穴壁近くの砂粒における細菌数の増加

スナモグリなし  
(対照区)

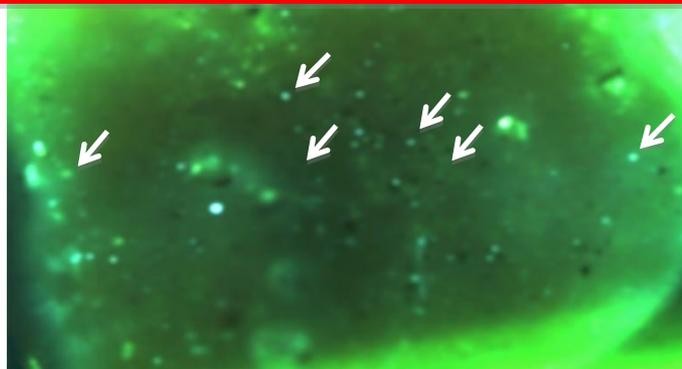
スナモグリ有り



巣穴部

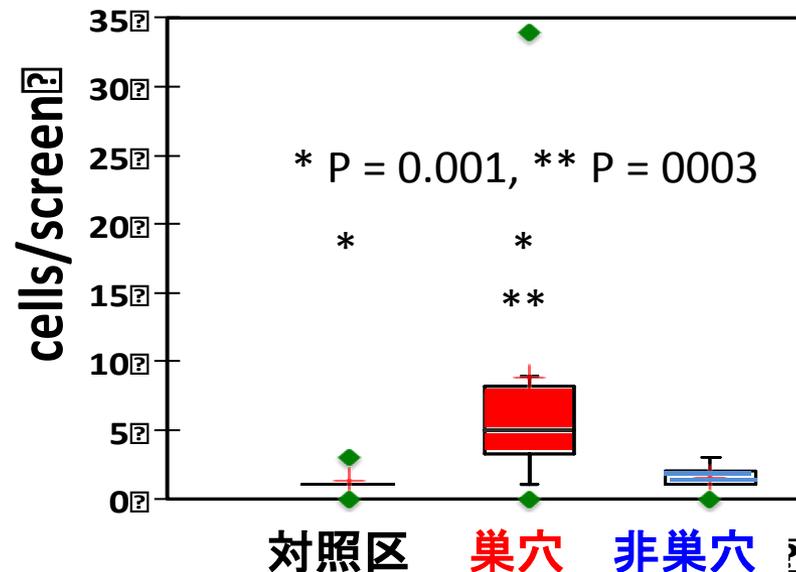
非巣穴部

巣穴壁付近の砂粒上には有意に多くの細菌が存在し、アンモニア酸化菌由来の遺伝子量も顕著に高い値を示した。

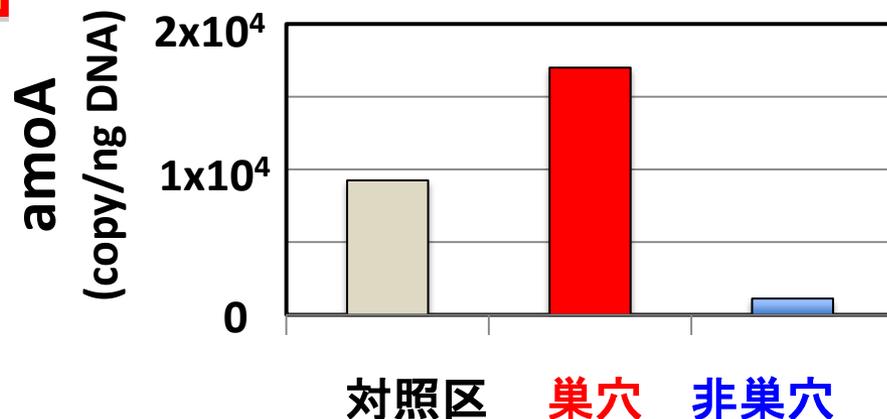


砂粒上に付着している細菌細胞

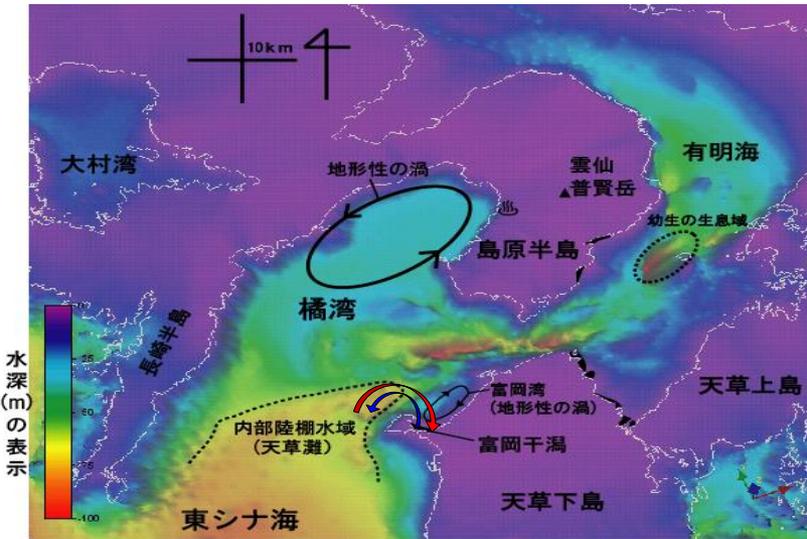
## 砂粒上の細菌数



## アンモニア酸化細菌の遺伝子量

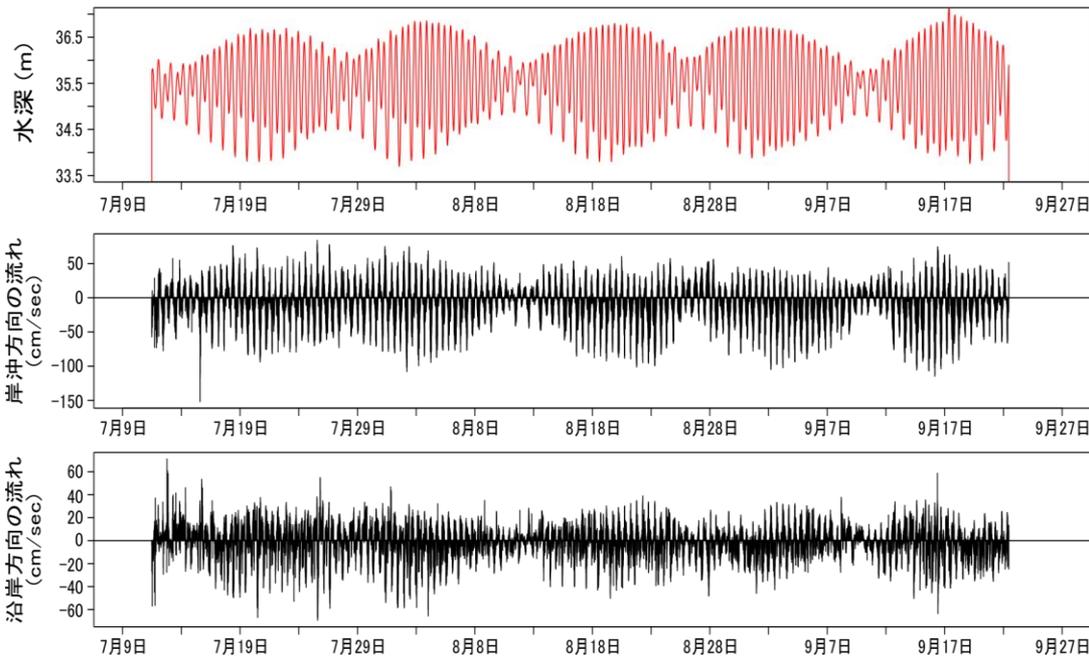


# 海水温上昇の影響予測：最終齢期の幼生が干潟に到着できず、十脚甲殻類個体群が崩壊する可能性がある ➡ 群集・生態系に波及



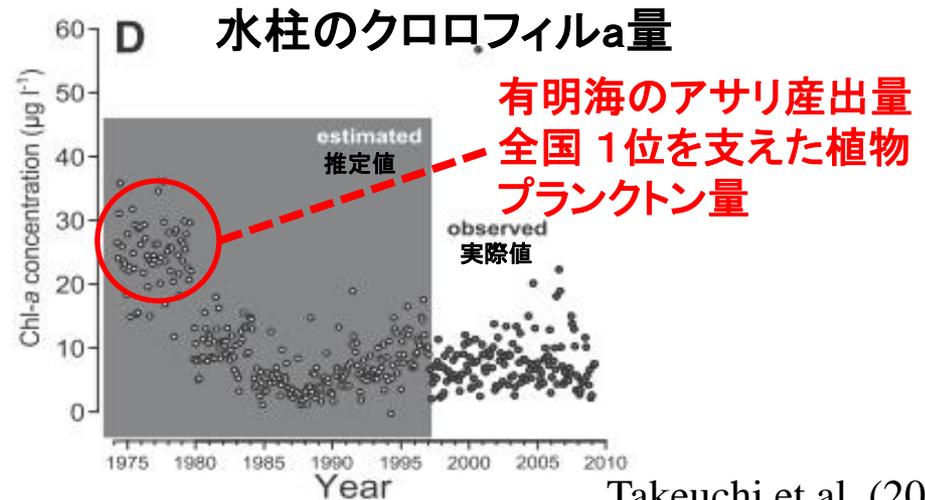
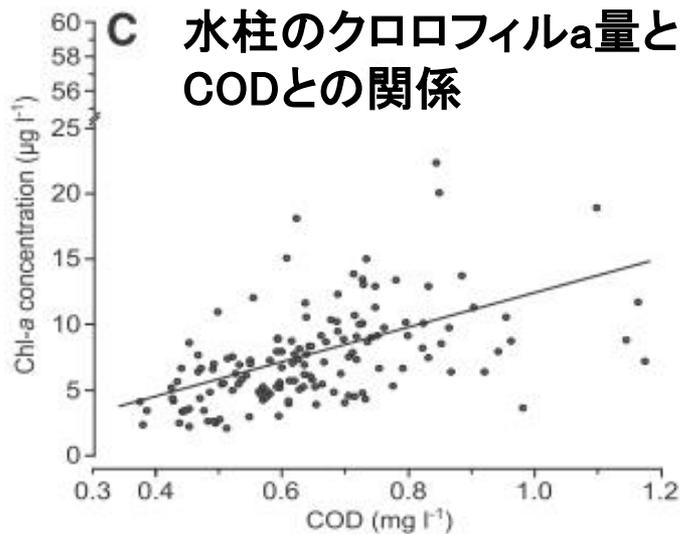
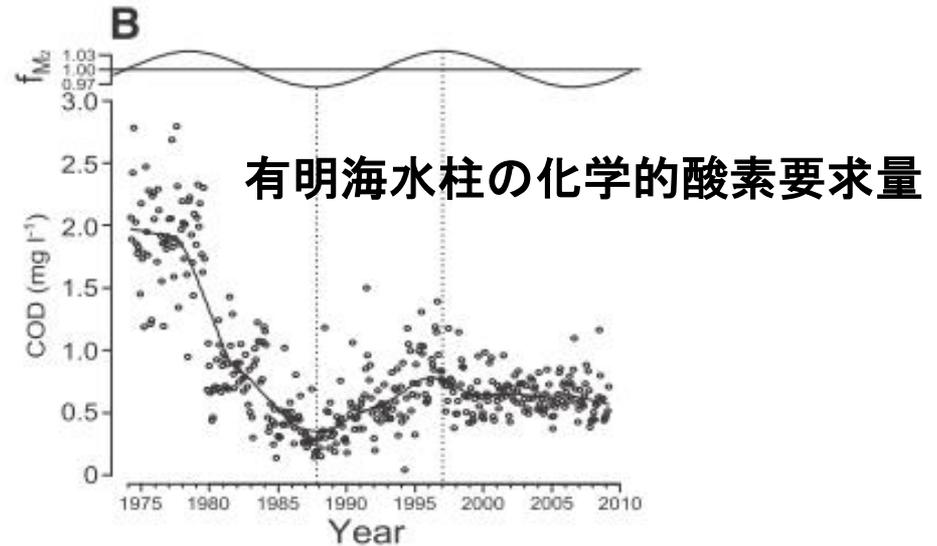
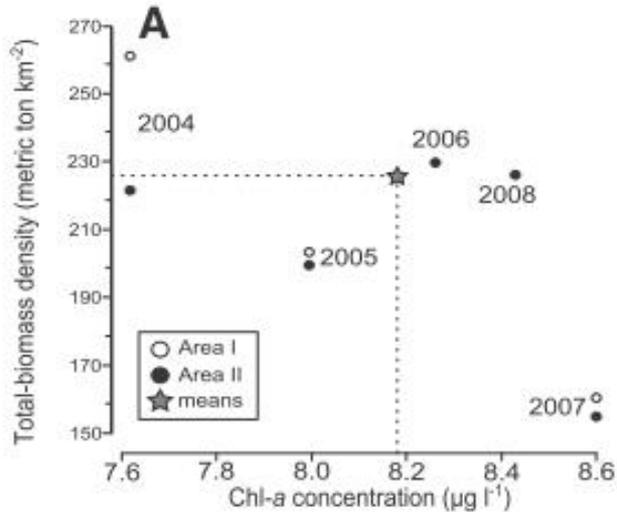
ゾエア幼生の放出とデカポディッド期幼生の回帰：それぞれ大潮時の下げ潮と上げ潮の強い流れを利用

富岡湾口部海底に音響流速計 (ADCP) を設置 (2012年7月-9月)



# 政策決定者と地域住民への提言 ①

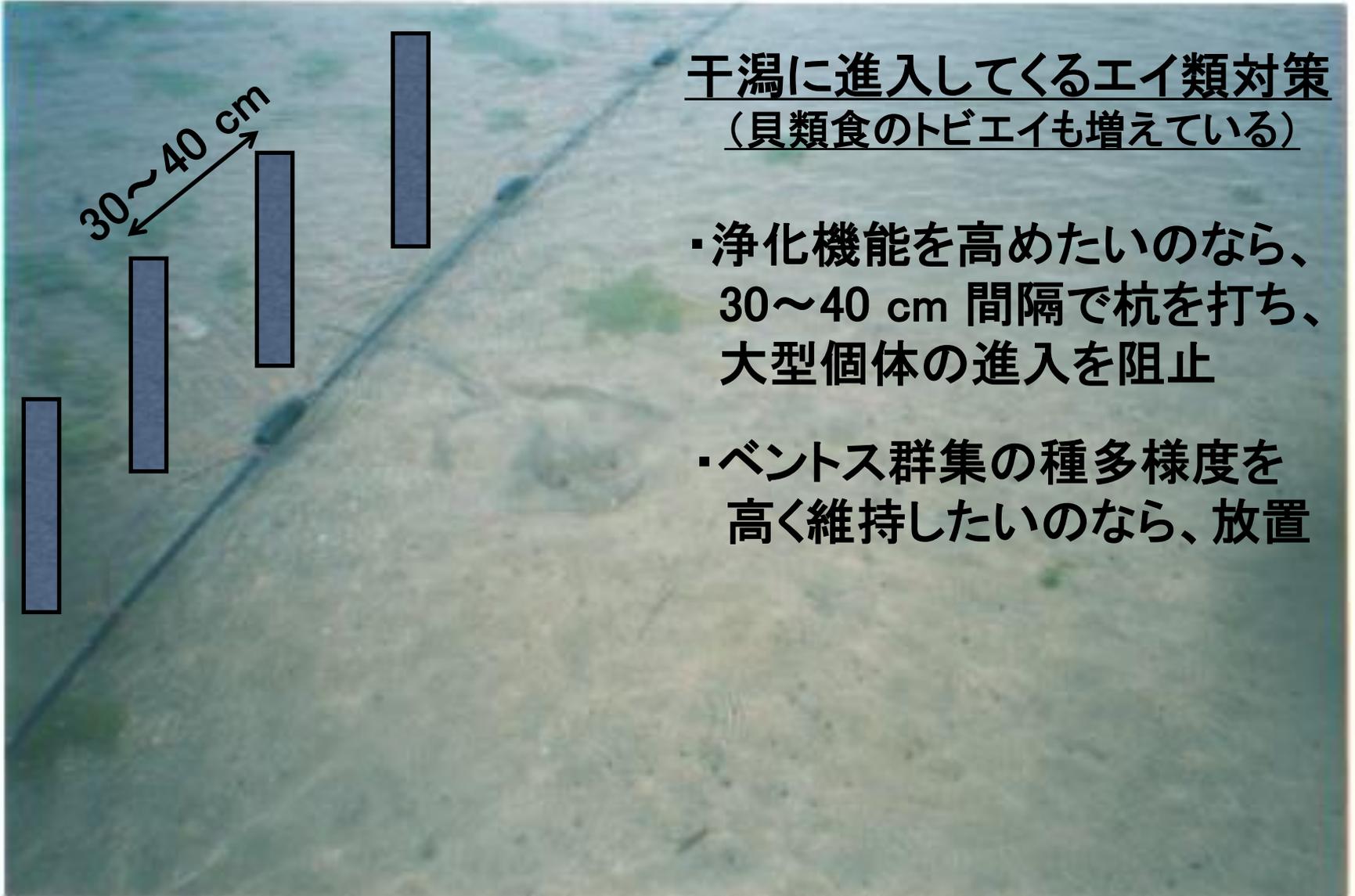
- ・1970年代～1980年代初めのスナモグリ・アサリ等の急増は、海域の富栄養化によるだろう。
- ・脱富栄養化している現在の有明海～天草灘：1970年代の1/4～1/3の漁獲量が上限？



## 政策決定者と地域住民への提言 ②

干潟に進入してくるエイ類対策  
(貝類食のトビエイも増えている)

- ・浄化機能を高めたいのなら、30~40 cm 間隔で杭を打ち、大型個体の進入を阻止
- ・ベントス群集の種多様度を高く維持したいのなら、放置

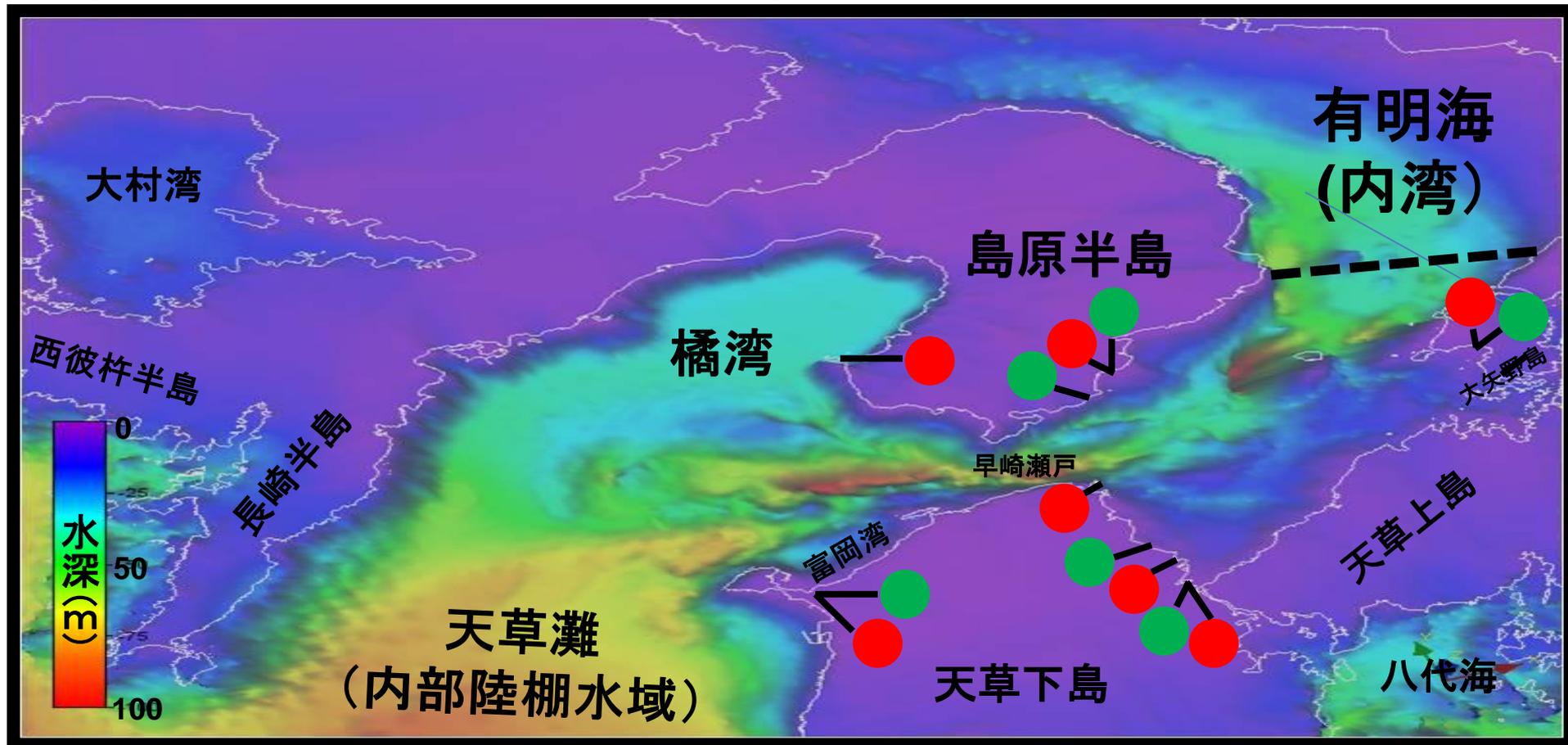


# 政策決定者と地域住民への提言 ③

- (1) 干潟ベントス幼生の生育海域＝アジ・サバ漁場＝ハンドウイルカの棲息場所  
(有数のウオッチング・サイト)はボトムアップ過程で支えられている: 保全の意義
- (2) 重要な砂質干潟抽出: 個体群の大きさ・幼生輸送における経路地の観点に立つ

● スナモグリ(底質浄化機能)の保全

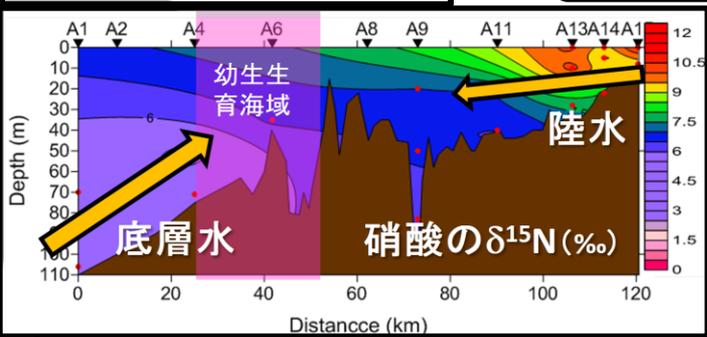
● 貝類(群集多様度・水質浄化機能)の保全



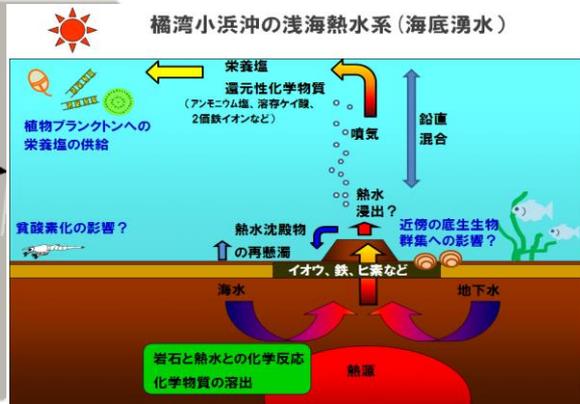
環境研究総合推進費  
4D-1104 (干潟・沖合過程を  
総合して保全対象干潟を抽出；  
海水温上昇の影響を予測)

# 橘湾

幼生は広く分布；墓場では  
なく、砂質干潟が少ない



# 島原半島



ベントス幼生輸送による干潟連結：  
大きな干潟を起点⇒小干潟を経由；  
今後、海水温上昇⇒発育期間短縮  
⇒回帰不全⇒干潟個体群崩壊？

ボトムアップ影響 (多くの十脚甲殻類幼生は一次消費者？)



# 早崎瀬戸

# 有明海

# 宇土半島

# 八代海

# 大矢野島

# 天草灘

# 天草下島

# 天草上島

