

環境省・環境研究総合推進費プロジェクト(H25-27年度)

島嶼ーサンゴ礁ー外洋統合 ネットワーク系動態解明に基づく 石西礁湖自然再生への貢献

灘岡和夫・渡邊敦・中村隆志(東京工業大学)

長井 敏 ((独)水産総合研究センター・中央水産研究所)

安田仁奈(宮崎大学)

鈴木 豪・亀田卓彦・福岡弘紀・名波敦・山下洋 ((独)水産総合研究センター・西海区水産研究所・亜熱帯研究センター)

本研究の目的:

石西礁湖生態系のレジリエンス劣化をもたらしている原因やオニヒトデの大量発生の慢性化に関する機構を解明し、それらによって有効なサンゴ礁生態系再生方策につながる科学的知見をもたらす

主要テーマ:

「島嶼－サンゴ礁－外洋統合ネットワーク系」解析に基づく

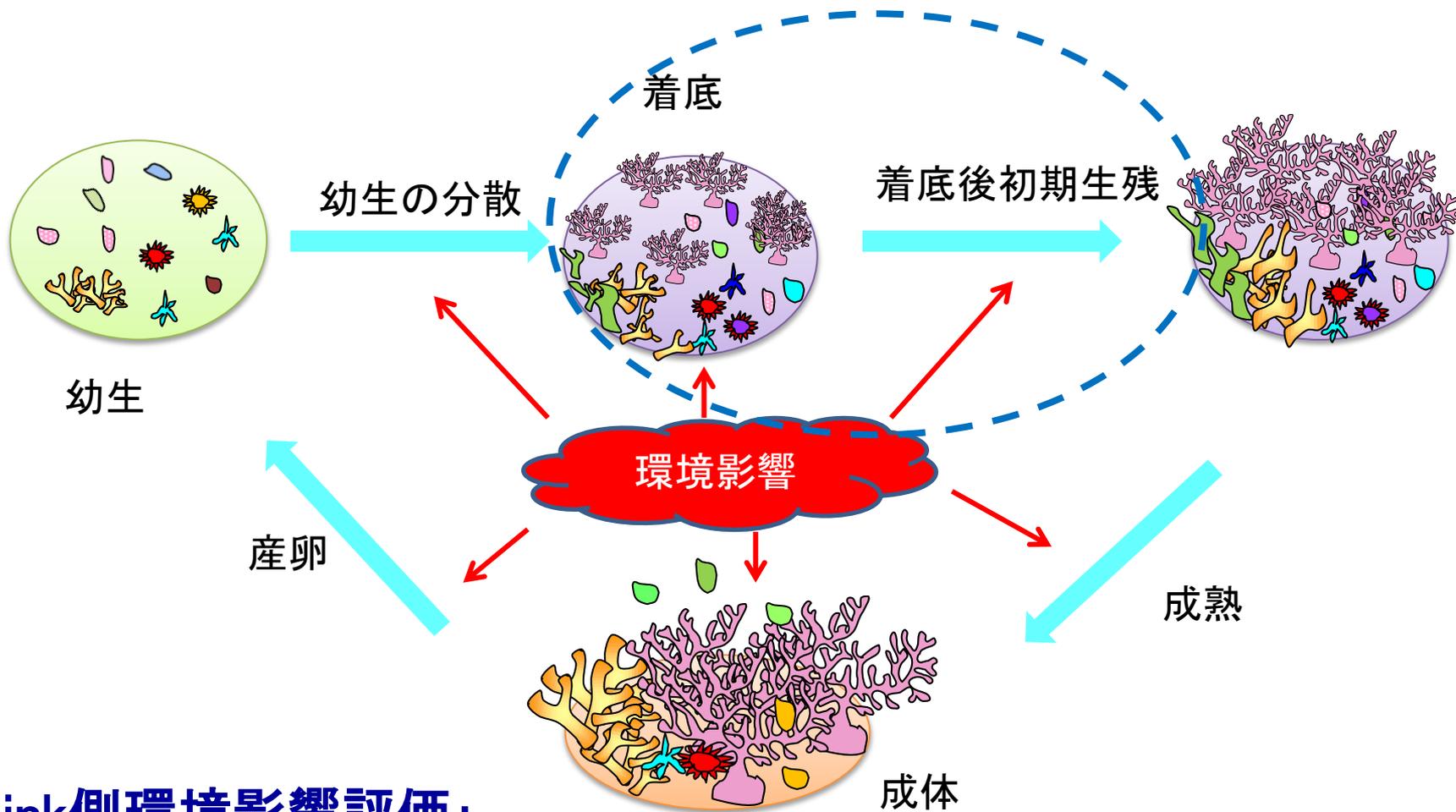
A) サンゴ礁生物の幼生分散・加入によるsource-sink多重連結構造の実態解明と環境影響評価、それによる”負の連鎖構造”の解明

B) 幼生分散過程での餌料環境や稚ヒトデの生残率制御要因の把握に基づくオニヒトデ大量発生・維持機構の解明

主要なアウトプット:

- 1) 石西礁湖及びその周辺沿岸域での**重点的保全海域の同定**
- 2) 生態系保全・再生のための**陸源負荷削減目標等の定量化**

A) サンゴ礁生物の幼生分散・加入によるsource-sink多重連結構造の実態解明と環境影響評価、それによる”負の連鎖構造”の解明



sink側環境影響評価:

重要性が高いにもかかわらず説明が遅れている
着底から初期生残過程への環境影響に着目

B)幼生分散過程での餌料環境や稚ヒトデの生残率制御要因の把握に基づくオニヒトデ大量発生・維持機構の解明

GBRにおける大量発生の有力仮説:「**栄養塩説**」

陸域からの栄養塩流入→餌となる植物プランクトン増加
→オニヒトデ浮遊幼生の生残率up

石西礁湖でも富栄養化が大量発生の原因？

課題

- ①野外でのオニヒトデ幼生検出技術が未発達
→新たな幼生検出技術の開発
- ②オニヒトデ幼生の餌料内容が不明
→メタゲノム解析
- ③栄養塩環境が大きな時空間変動性を持つ
→広域多点一斉調査＋長期定期的調査
- ④オニヒトデの各生活史段階への環境影響が不明
→オニヒトデ餌料環境・動態モデルの開発と解析

研究体制

ST1: 数値シミュレーションモデル
解析と現地調査に基づく「島嶼－
サンゴ礁－外洋」統合ネットワー
ク系の構造解明

東京工業大学 灘岡和夫・中村隆
志・渡邊敦・向草世香

ST3: 石西礁湖を中心としたサン
ゴ礁生物のreef-scape
connectivityの解明(集団遺伝学
的解析)

宮崎大学 安田仁奈

ST2: メタゲノム解析による生物多様
性の把握とサンゴ礁レジリエンス過程
の観察

中央水産研究所 長井敏・田邊晶史・
本郷悠貴

ST4: 石西礁湖におけるサンゴ礁性
生物の再生産および関連する環境動
態の把握(現地モニタリング)

西海区水産研究所・亜熱帯研究セン
ター 鈴木豪・亀田卓彦・福岡弘紀・
名波敦・山下洋



密接な連携・協働

石西礁湖自然再生協議会・学術調査WG

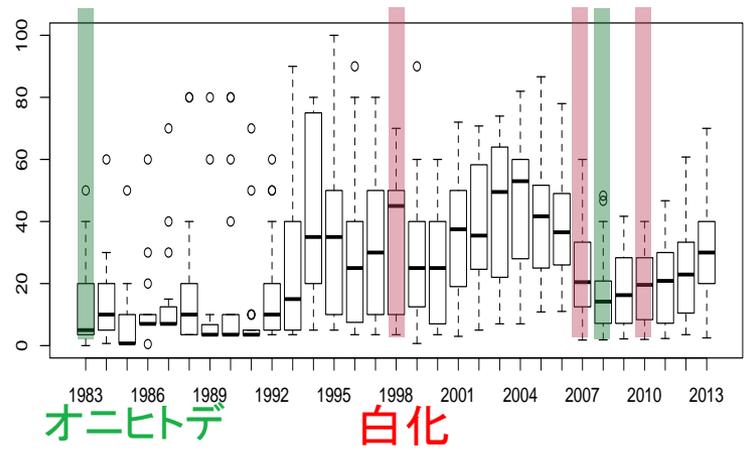
サブテーマ1

数値シミュレーションモデル解析と
現地調査に基づく「島嶼－サンゴ礁－
外洋」統合ネットワーク系の構造解明

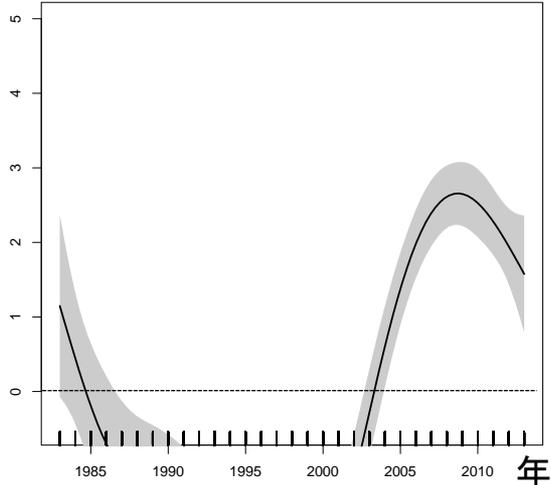
灘岡 和夫・中村 隆志・渡 邊敦・向 草世香
(東工大)

モニタリングサイト1000データ解析例：石西礁湖南

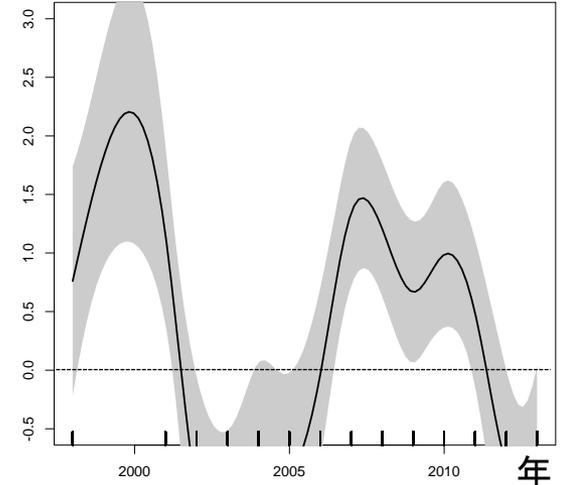
サンゴ被度



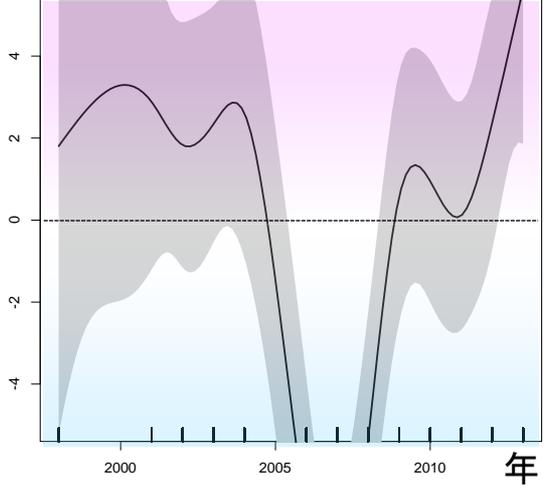
オニヒトデ出現トレンド



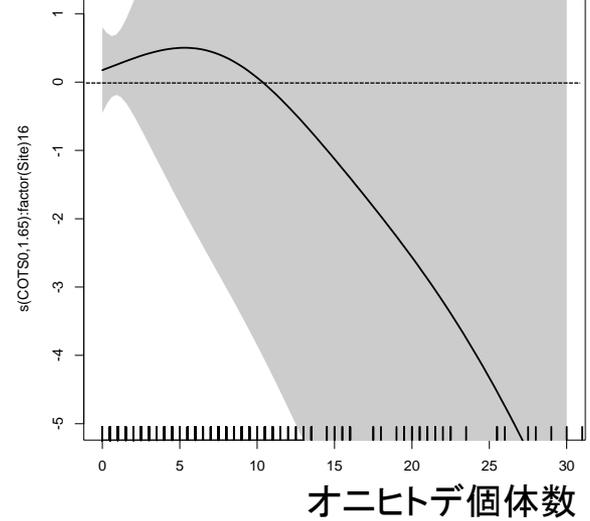
白化発生トレンド



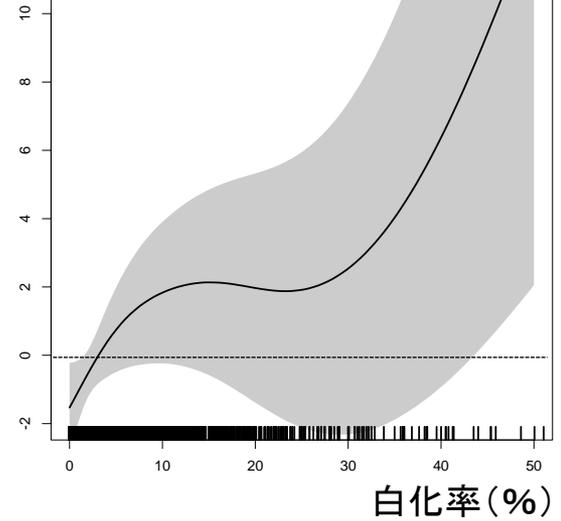
サンゴ被度増減トレンド



オニヒトデの影響



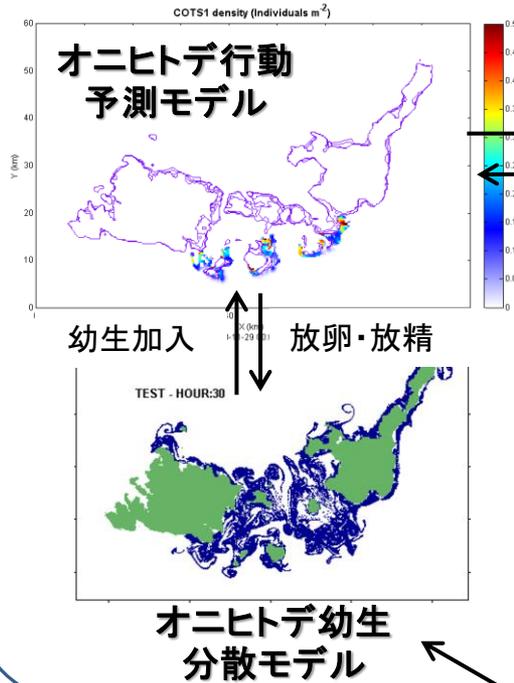
白化の影響



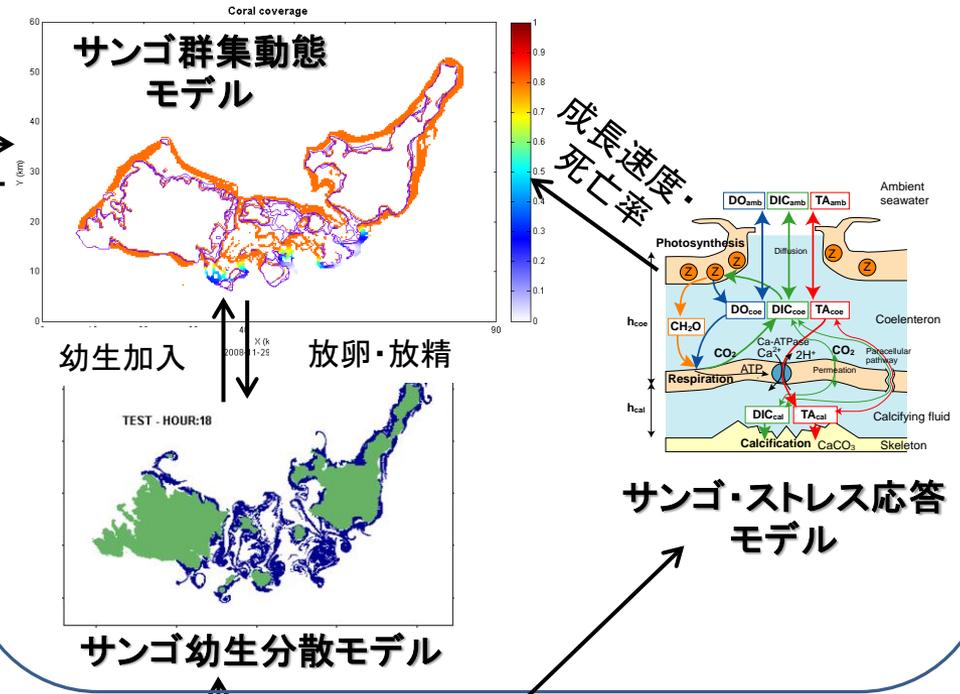
やはりサンゴ群集のモデル解析にはオニヒトデ大発生と白化現象は必須！

統合モデルシステム開発

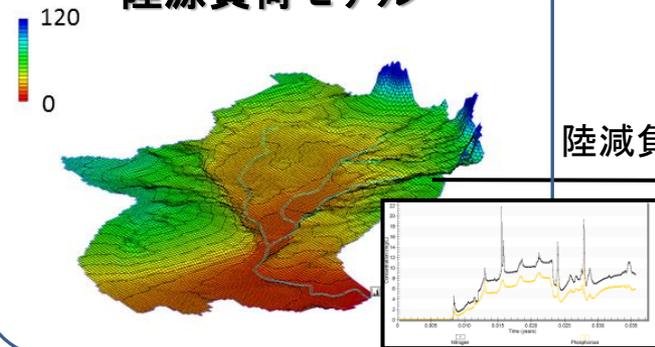
オニヒトデ動態モデル



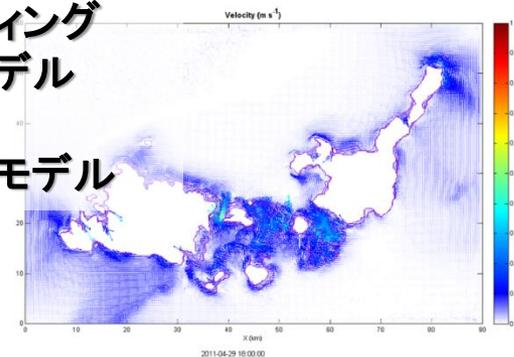
サンゴ群集動態モデル



陸源負荷モデル

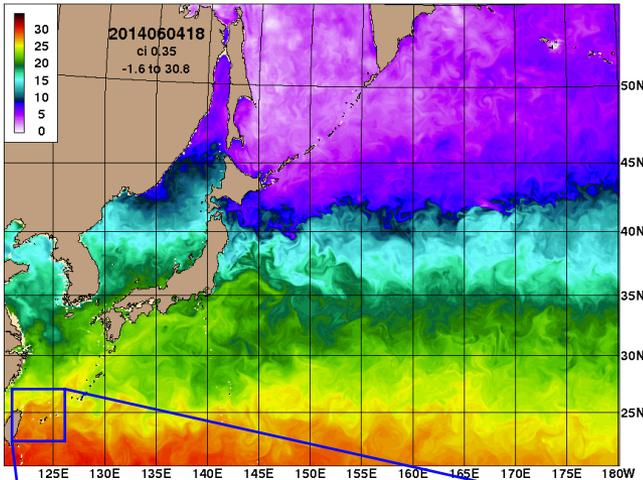


多重ネスティング 3D流動モデル + 低次生態系モデル



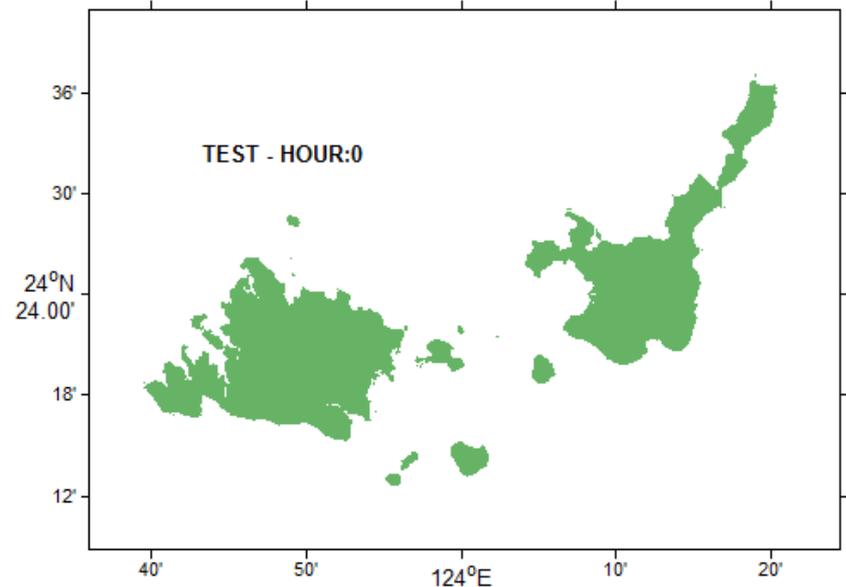
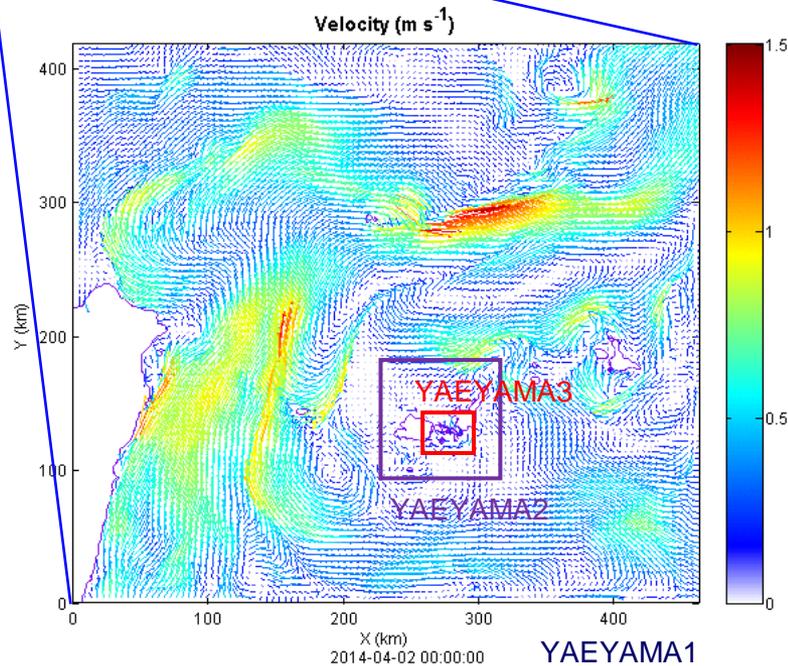
多重ネスティング3D流動モデルによる 幼生分散シミュレーション

SST Jun 01, 2014 00Z 91.1



- ①サンゴやオニヒトデから放出された幼生がどのように流れてどこに着床するかを推定する。
- ②幼生が漂っている最中に経験する環境(植物プランクトン濃度、水温など)も再現し、どの程度幼生が生残するかを推定する。

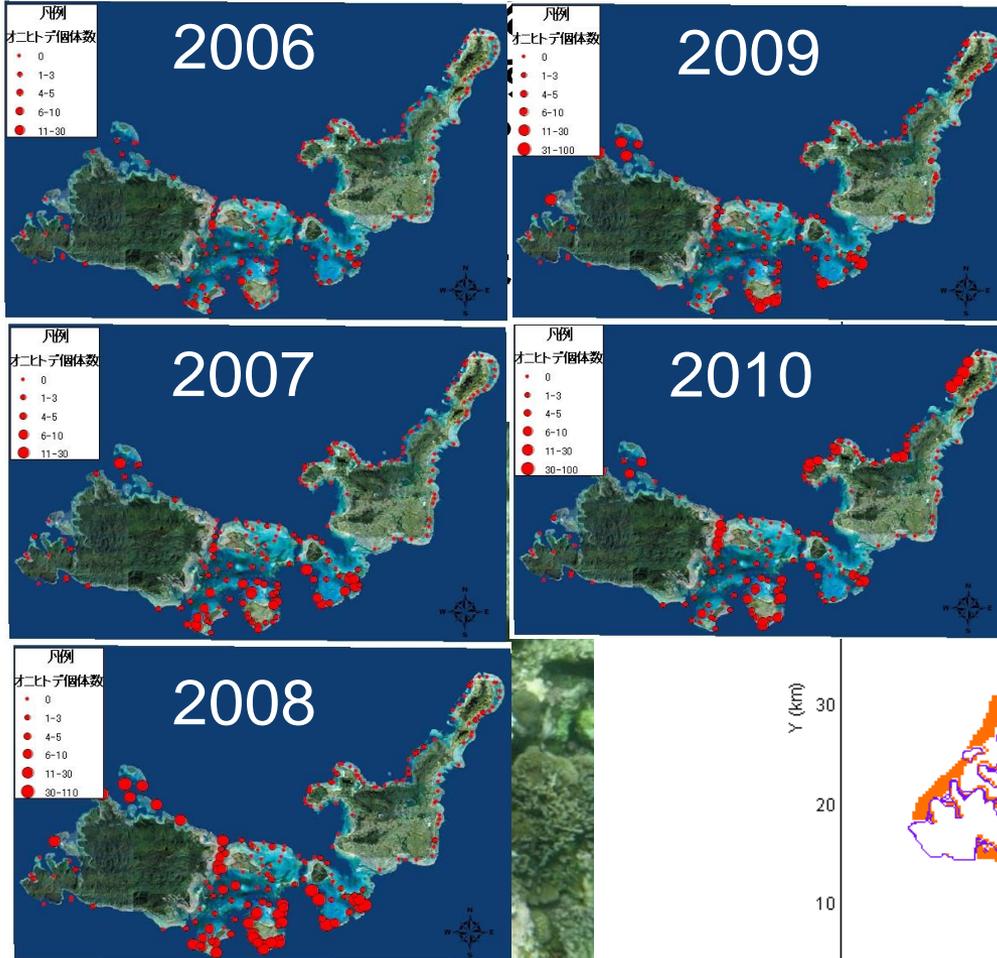
←グローバル海洋モデル
(HYCOM)のアウトプット



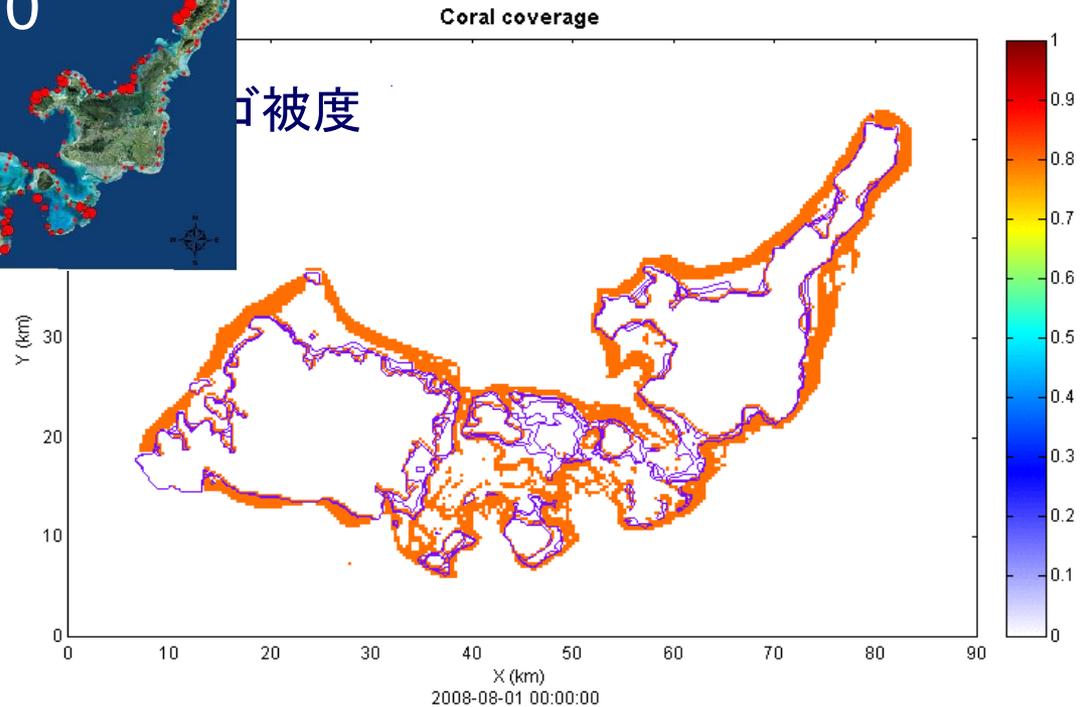
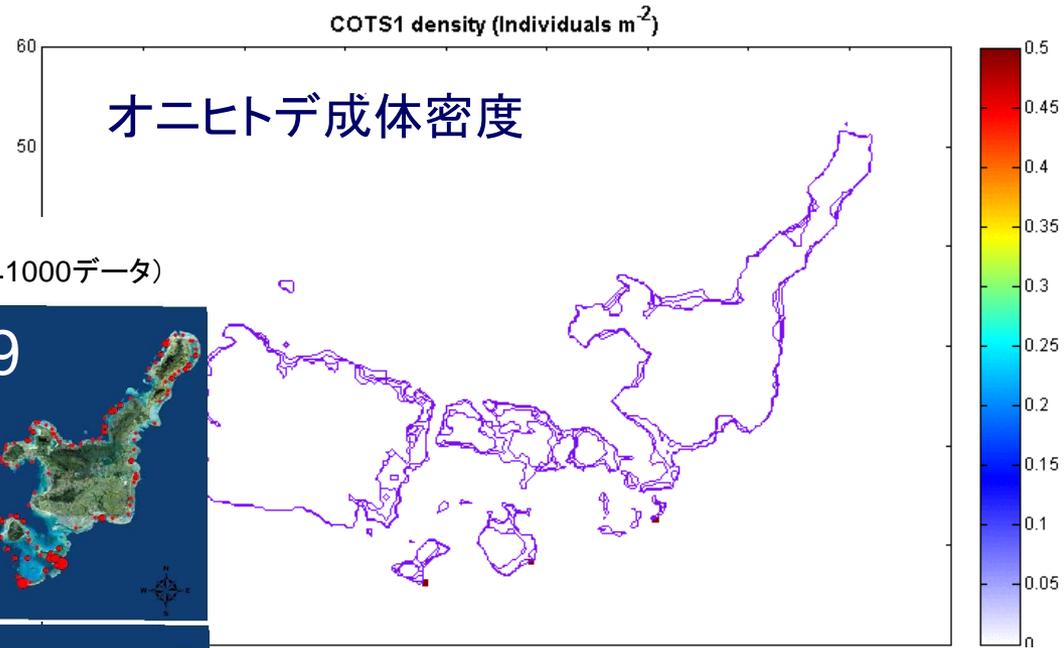
* 古い計算ドメインによる幼生分散シミュレーション結果

オニヒトデ成体の行動予測モデル:

オニヒトデの出現個体数の推移(モニ1000データ)

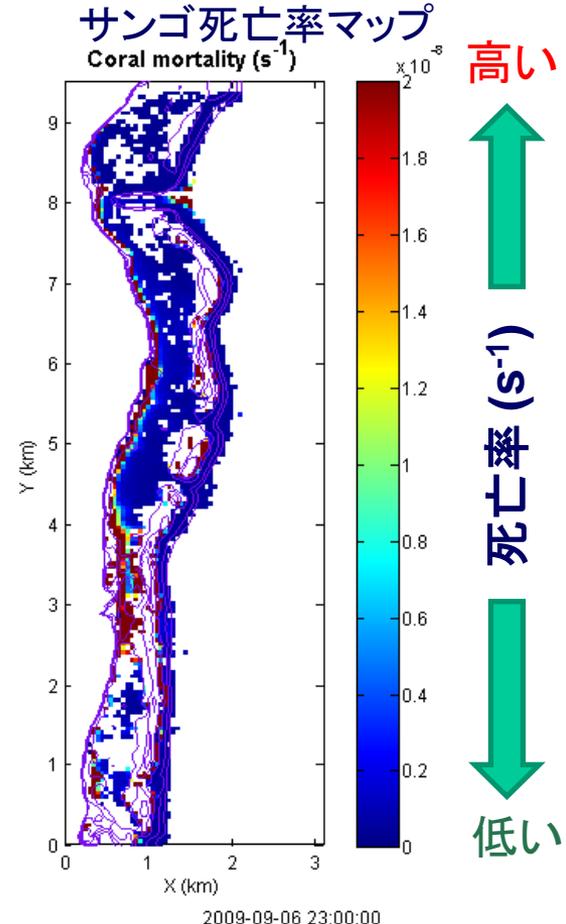
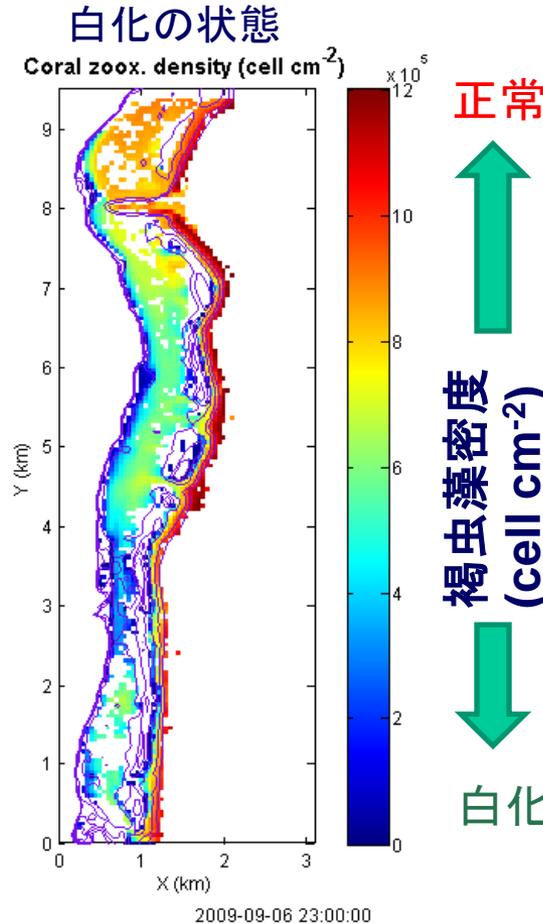
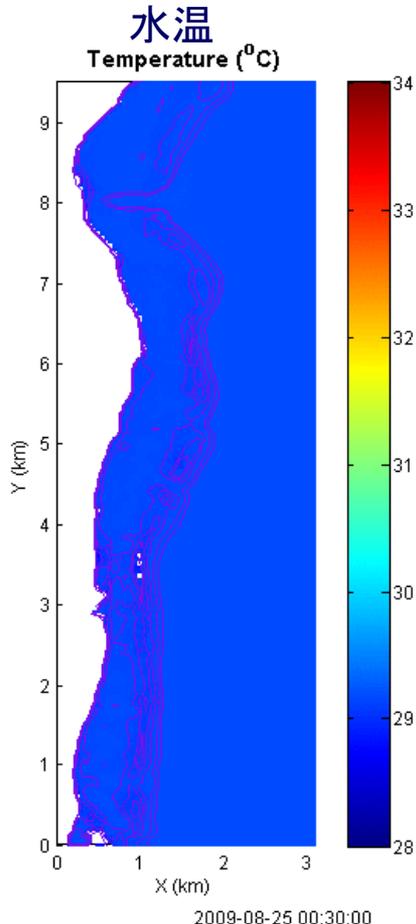
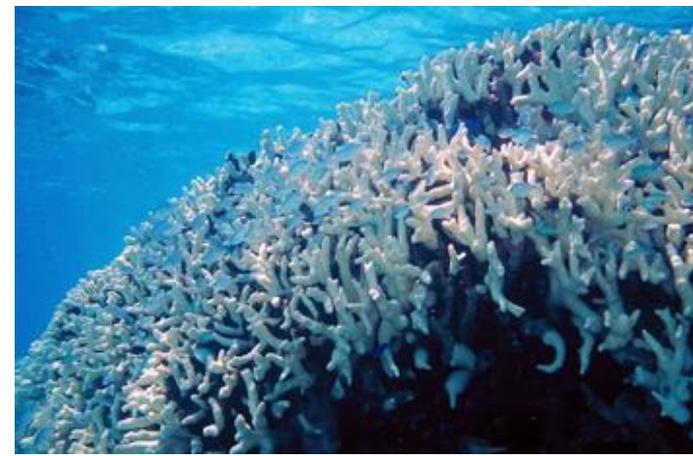


オニヒトデによるサンゴの被食



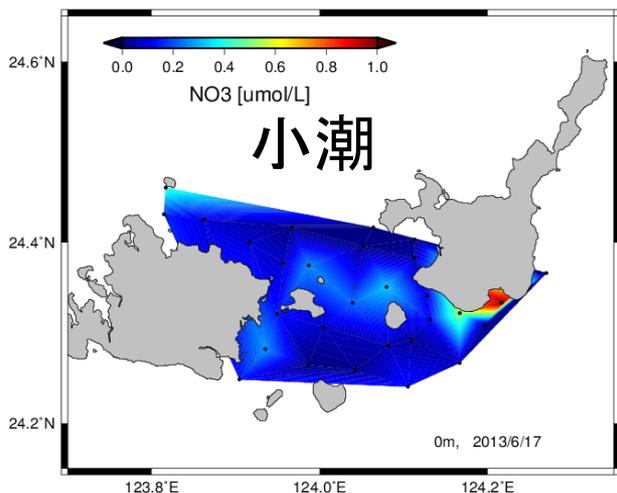
サンゴの白化現象のモデル化

石西礁湖において、白化現象はサンゴ群集の劣化を招く大きな要因の一つとなっている。そこで、サンゴの生体内の応答を記述したモデルを用いて、白化現象を再現・予測するモデルを開発し、白化のリスク評価を行う。

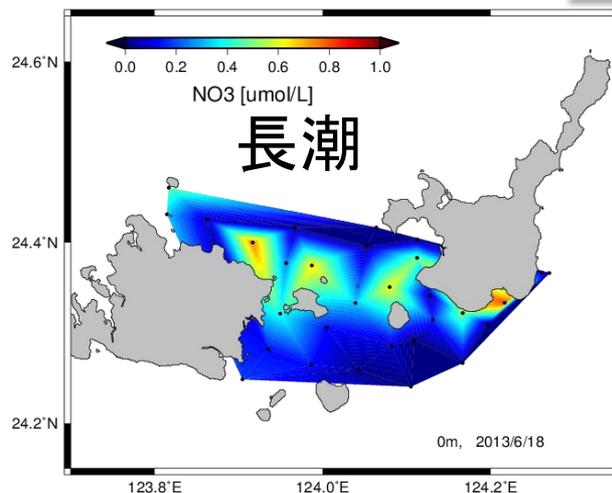


サブテーマ1 (観測結果): 硝酸の空間分布 (表層)

2013年6月17日

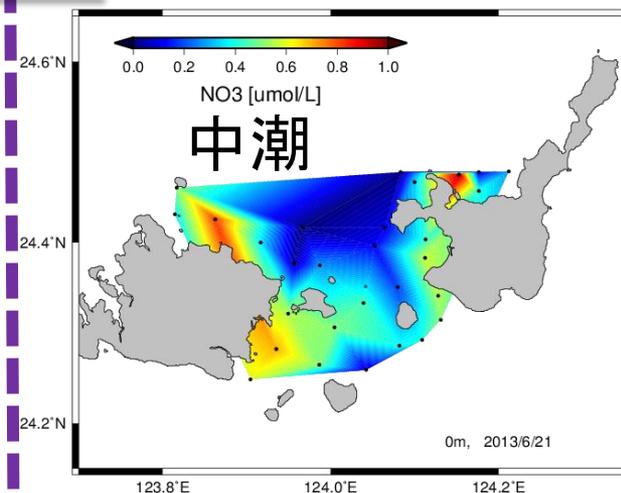


6月18日

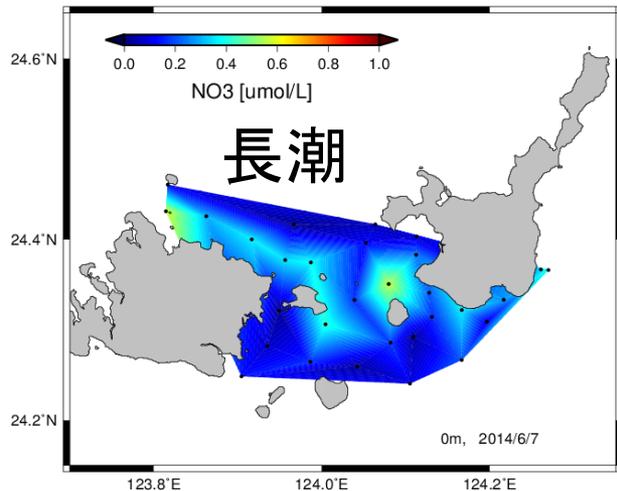


台風

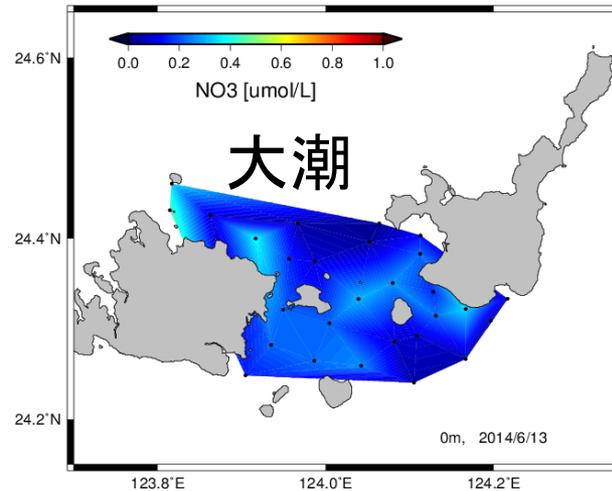
6月21日



2014年6月7日



6月13日



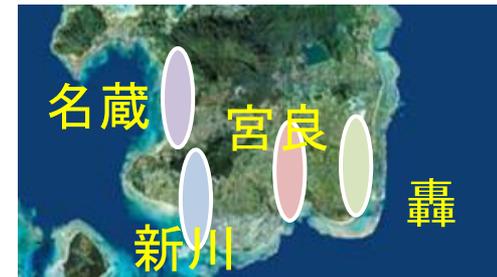
陸源負荷の指標の一つである硝酸態窒素

- 平常時は北礁から西表北部に掛けてやや高め。
- 台風による出水後は、河口周辺を中心に石垣・西表両島付近で高濃度に。

河川水の栄養塩濃度(平常時)

平常時の栄養塩濃度(単位: $\mu\text{mol/L}$)

	NO_3	NO_2	NH_4	PO_4
新川	466.3	24.7	62.1	36.7
宮良	133.5	0.8	2.2	0.26
名蔵	6.9	0.2	1.7	0.27
轟	156.7	0.5	1.2	0.33

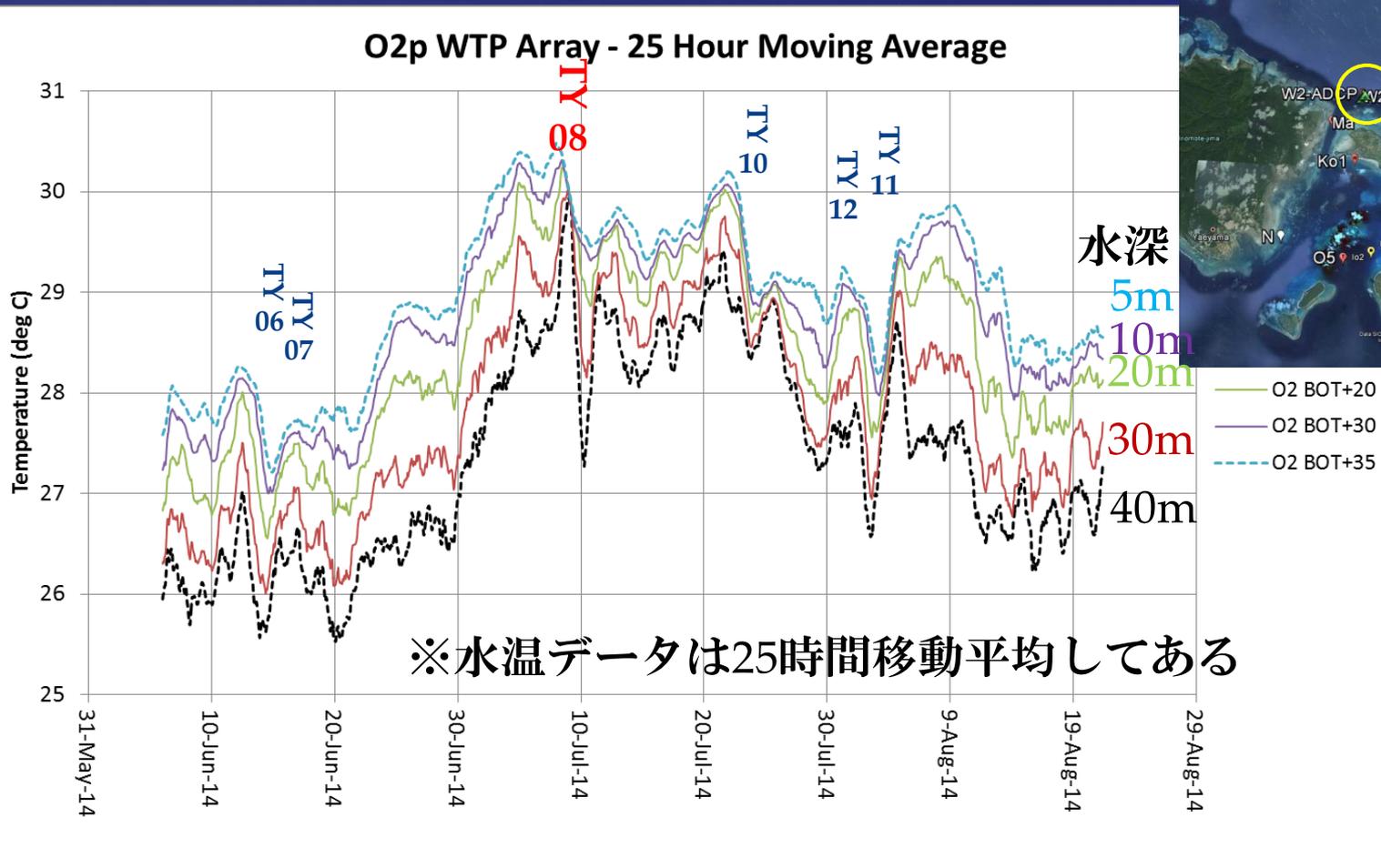


- 新川川はどの栄養塩濃度も高い。
- 轟川や宮良川は硝酸濃度が高い。
- 西表の河川は平常時の栄養塩濃度が低い。



※新川は長間橋、宮良は赤下橋、名蔵は神田橋、轟は轟橋での値。

北礁側の水溫係留系データ



2014年の台風8号は、サンゴの白化リスクを低減させる効果があった。

今後の方針

- サンゴやオニヒトデの生活史をモデル化することで、サンゴ群集の変遷を再現し、将来予測につなげる。
- サンゴ群集や環境負荷の空間的なつながり(コネクティビティー)のネットワークを解析することで、有効な保全策、保全区域を検討する。

そのためには、、

オニヒトデ幼生の餌環境のモデル化と(ST2,ST4と共同)

オニヒトデ幼生の広域密度分布の把握と幼生分散モデルの検証(ST3と共同)

サンゴ幼生の分散～着底までの空間的なつながり(コネクティビティー)の検証(ST3と共同)

サンゴ着底基盤の環境を評価し、モデルに取り込む(ST2,ST4と共同)

サンゴの各生活史における環境に対する影響の評価とモデル化(ST4と共同)

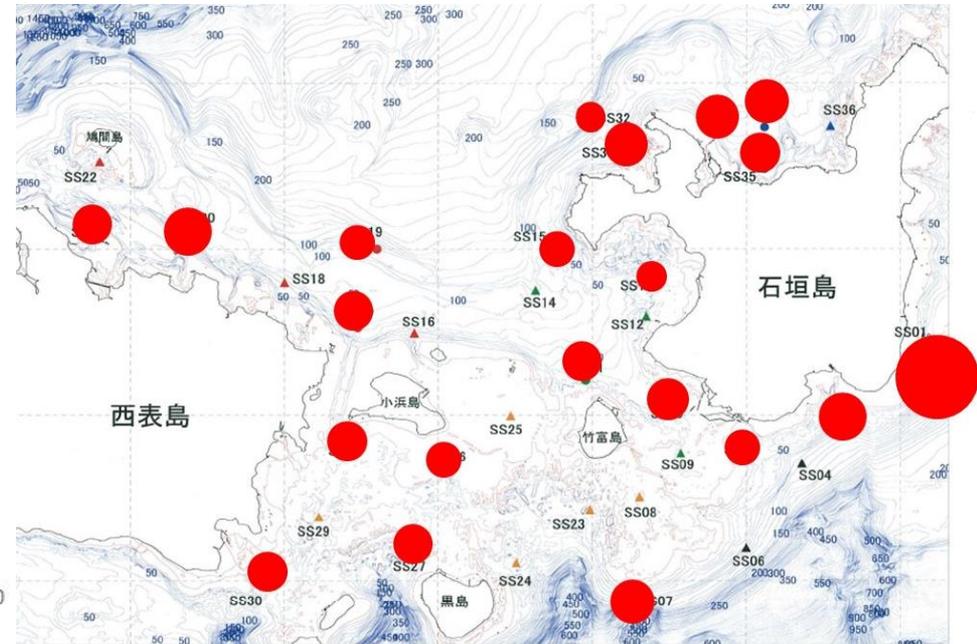
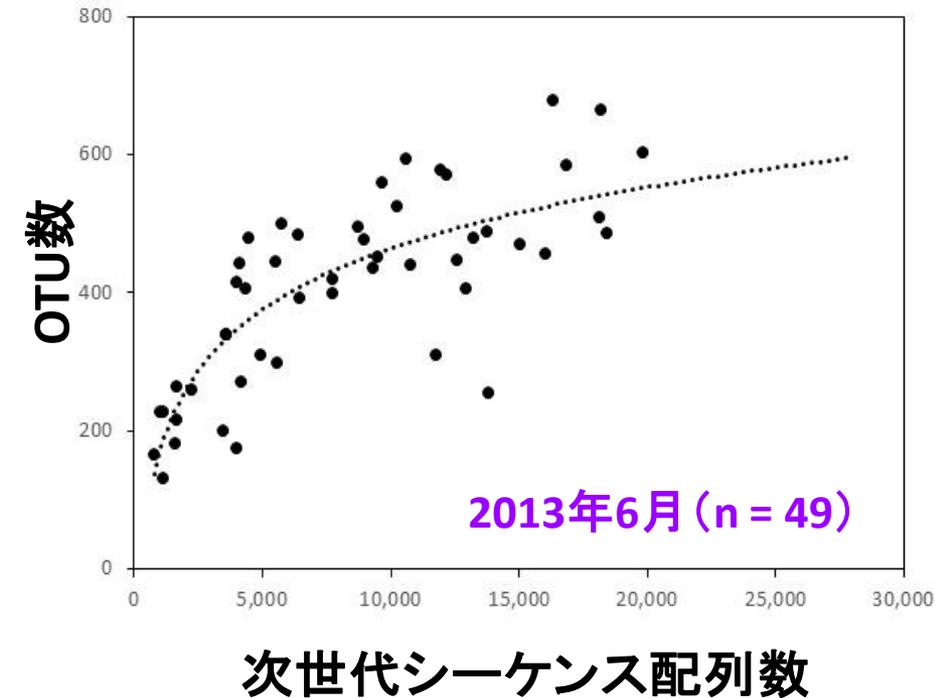
サブテーマ2:

メタゲノム解析による生物多様性の把握とサンゴ礁レジリエンス過程の観察

水産総合研究センター中央水産研究所
長井 敏

石西礁湖周辺におけるプランクトン多様性解析

16地点においてメタゲノム解析を実施



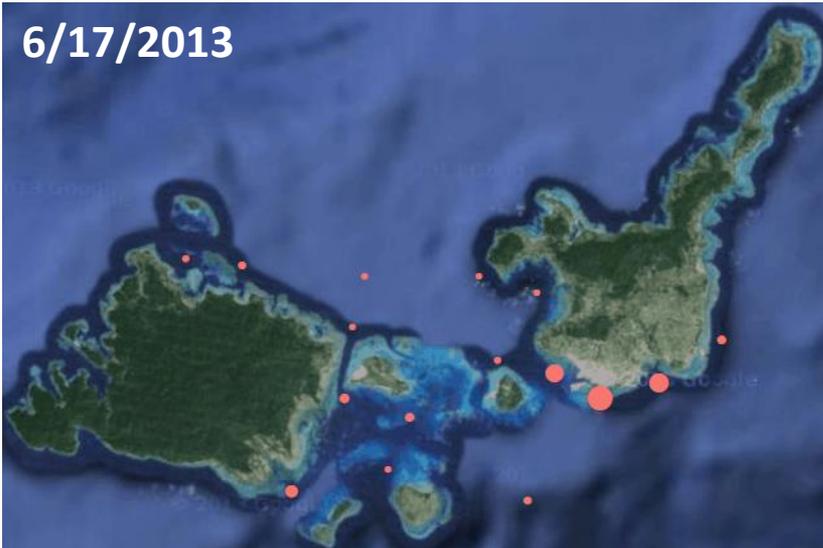
3Lの海水中に出現するプランクトンサンプルについて、25,000–30,000配列を読めば、網羅検出が可能！

OTU数：出現種数の目安

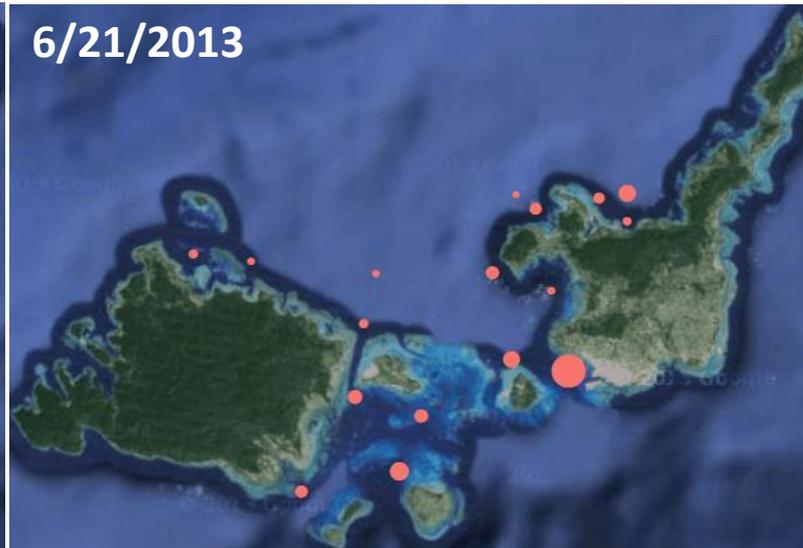
各地点のOTU数: 185.8 ± 59.0
2013年の5回の調査の平均値。
石垣島南部の一部で高い値を示す。陸域からの栄養塩供給量と深い関係がある！

プランクトン多様性から見た陸源負荷の起源解明

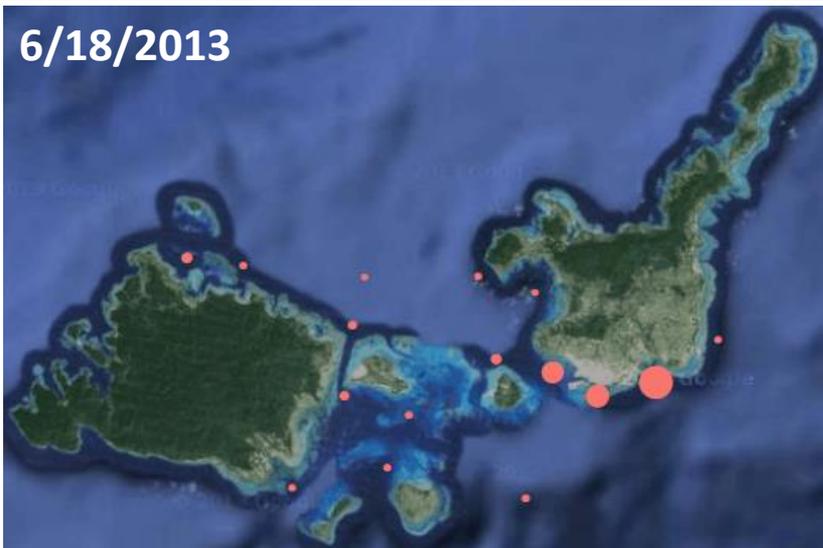
6/17/2013



6/21/2013

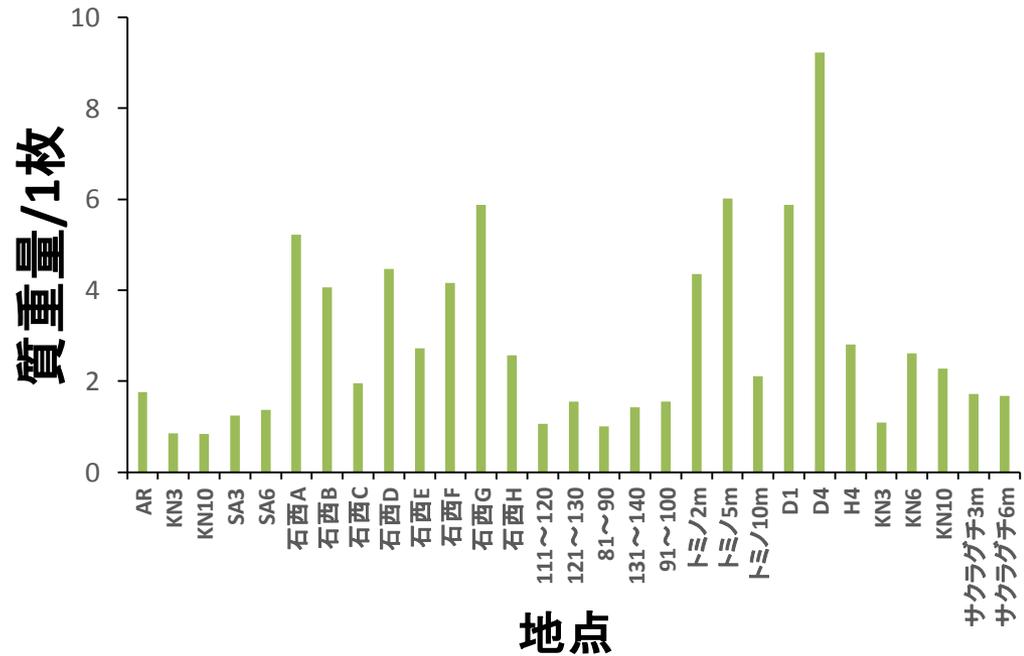


6/18/2013

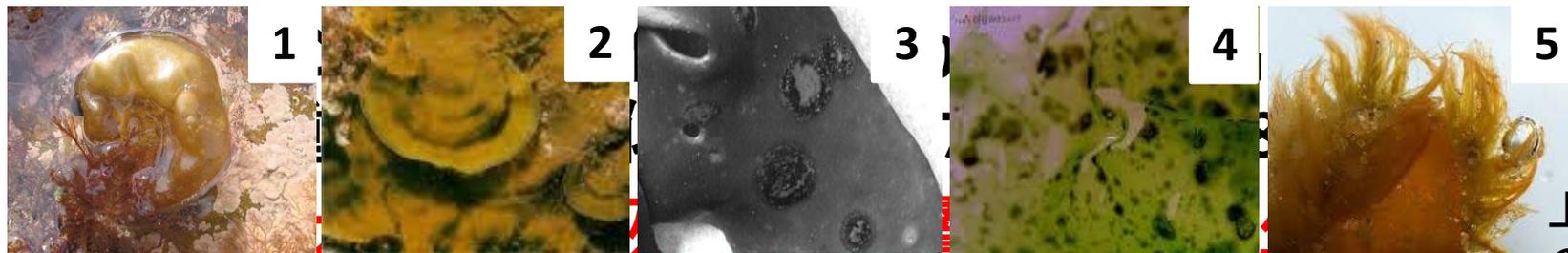


珪藻の出現量から、
石西礁湖の陸源負荷
の起源は石垣島南部
にあることが判明!

サンゴ着底坂のメタゲノム解析



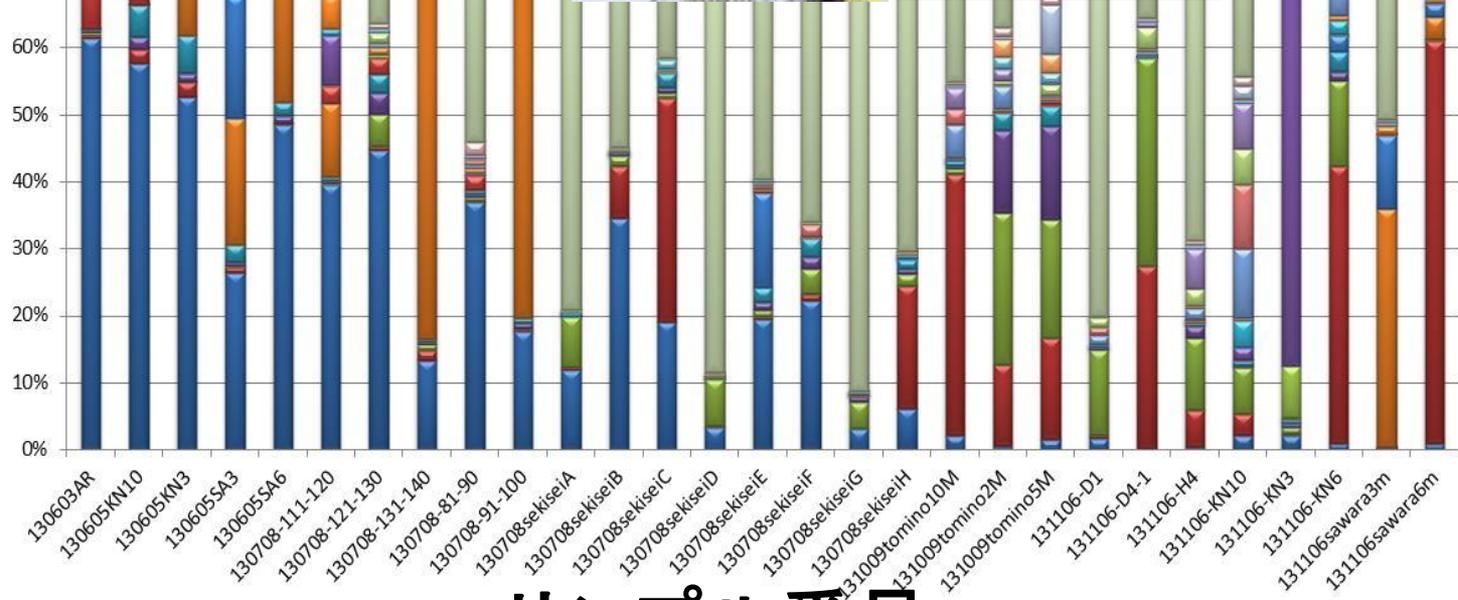
サンゴの生存・成長と付着生物の関係を解析



上位20位の生物種

- 1 2
- 3 4
- 5 6
- 7 8
- 9 10
- 11 12
- 13 14
- 15 16
- 17 18
- 19 20

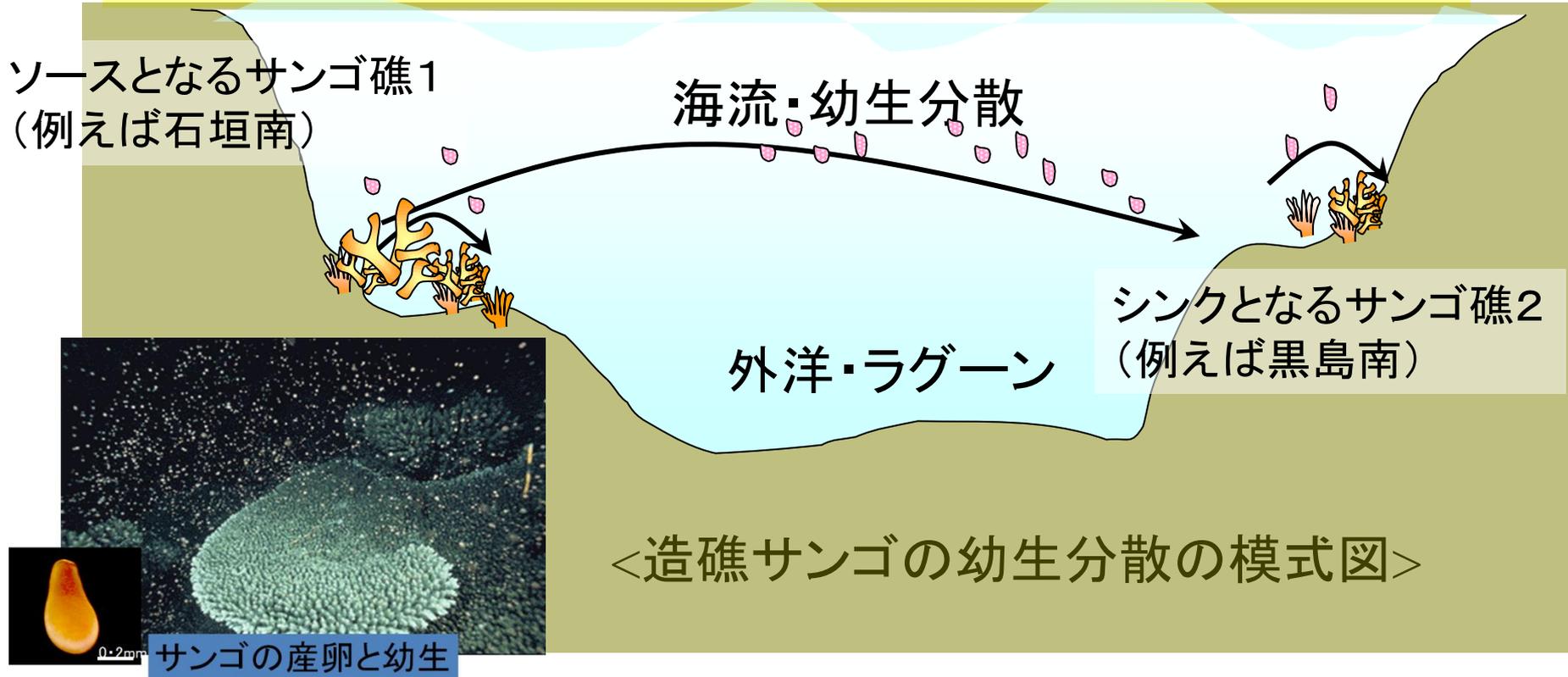
出現頻度



サンプル番号

サブテーマ3 (宮崎大)

幼生分散によるサンゴ礁間の繋がりの解明



⇒サンゴ礁間の**幼生分散**を**遺伝的な繋がり**から**推定**

サンゴは幼生分散によって空間的に離れた群集間が繋がって支え合っているので、その空間構造を具体的に明らかにし、その中の重要なソース・シンク海域を海洋保護区として保全することが重要

方法：石西礁湖周辺でのサンプリングと解析

鳩間島西

クシハダ 8群体
ハナヤサイ 23群体
アオサンゴ 18群体

ユシングチ

クシハダ 30群体
ハナヤサイ 16群体
アオサンゴ 30群体

名蔵大橋前
クシハダ 30群体
ハナヤサイ 29群体

名蔵クードー

クシハダ 30群体
ハナヤサイ 29群体

サクラグチ

クシハダ 5群体
ハナヤサイ 57群体
アオサンゴ 30群体

カノカワ東浜

クシハダ 30群体
ハナヤサイ 36群体
アオサンゴ 30群体

ターヤグチ

クシハダ 30群体
ハナヤサイ 27群体
アオサンゴ 34群体

ハイミ

クシハダ 20群体
ハナヤサイ 13群体
アオサンゴ 2群体

対象3種

クシハダミドリイシ(4日～数週間)

アオサンゴ(数時間～数週間)



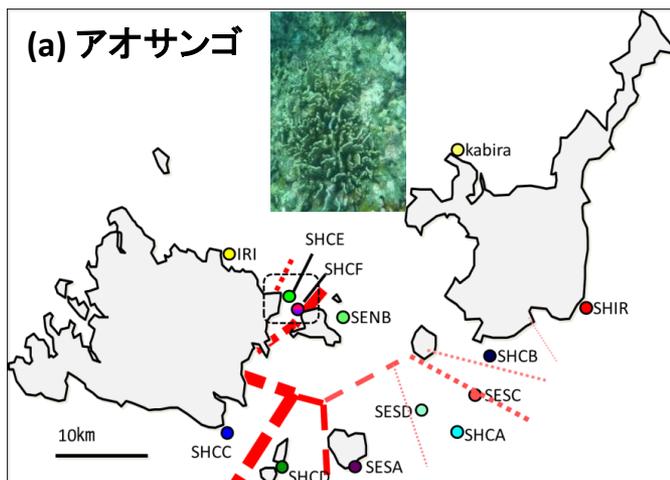
ハナヤサイサンゴ(数日～120日)



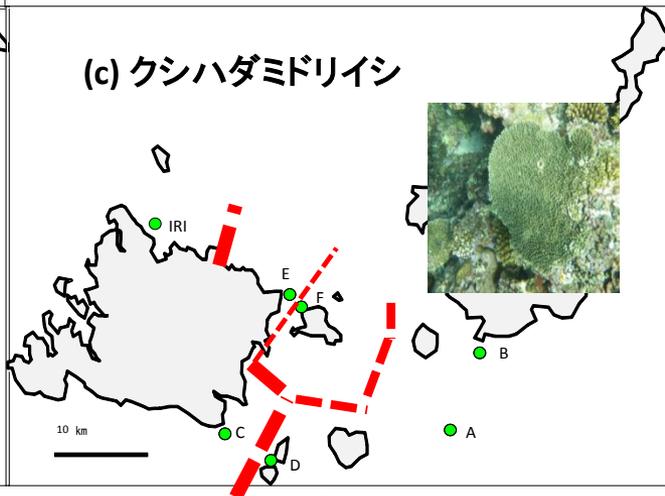
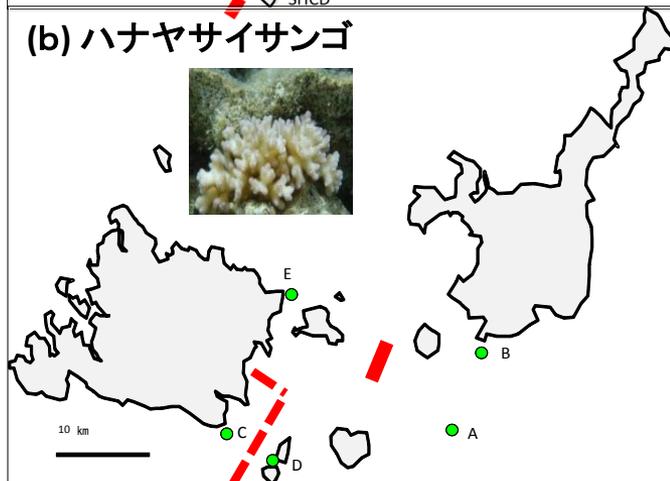
変異速度が大きく、そのため集団間の遺伝子配列上の特徴の違いを反映しやすい進化速度の速い遺伝子マーカーを適宜開発・利用して解析



対象種3種から推定された幼生分散の障壁(赤線)



新城⇔西表南東
西表東の北⇔南
ヨナラ水道の東⇔西
など類似した遺伝構造が見られた
→海域間をつなぐ幼生分散は
限られている



赤線は遺伝的に以外のあった集団間を区切る線(太いほど違い大)

赤線内の空間→互いに幼生が行き来しやすい海域

幼生分散の障壁(赤線)で区分された海域ユニットごとに保全する必要

世界初の本格野外オニヒトデの広域密度分布調査の結果

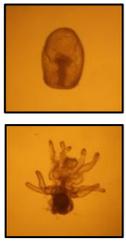
プランクトンネットで採集(3日間)



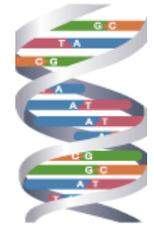
顕微鏡観察



幼生単離



DNA抽出

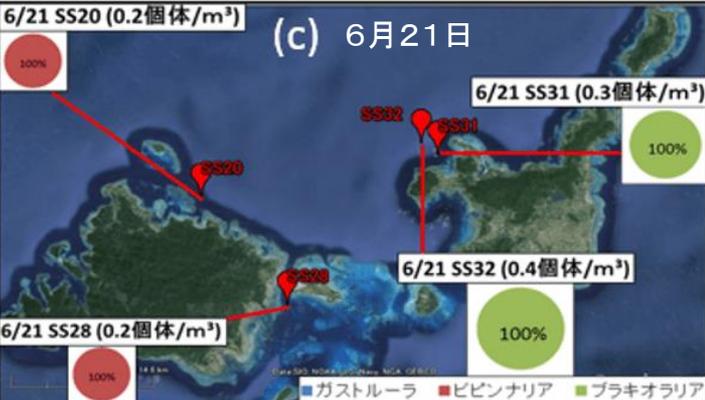


種を同定



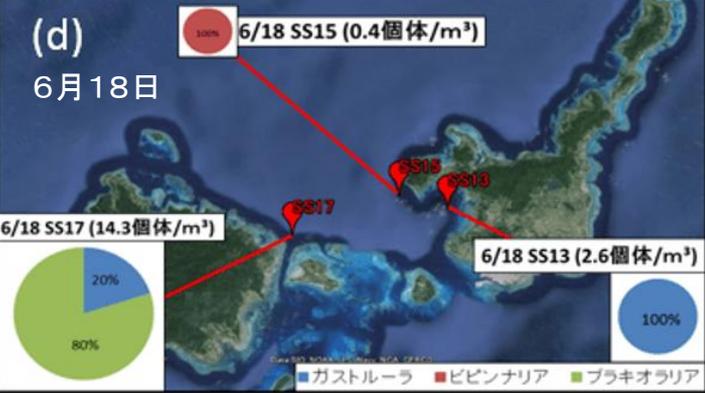
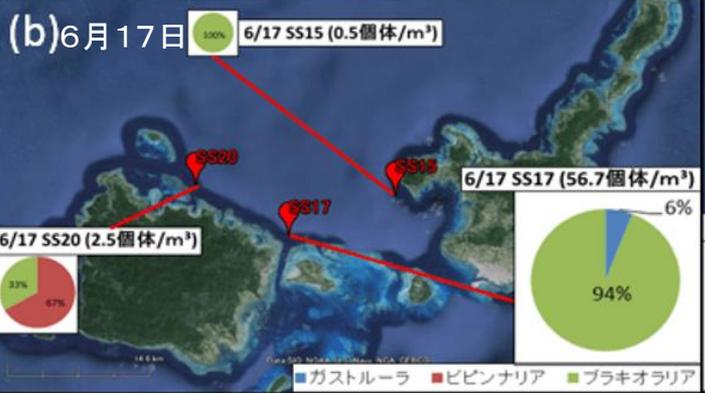
オニヒトデ幼生の大きさは0.2mmから0.8mm位

(a) サンプル場所



石西礁湖の内外をつなぐヨナラ水道周辺に多く見られた!

→石西礁湖で生まれたオニヒトデが外へ石西礁湖以外の場所からオニヒトデがやってくる両方の可能性がある



オニヒトデが多い北側に幼生が多く見つかった

オニヒトデ幼生の発生: ガストルーラ(青) → ビピンナリア(赤) → ブラキオラリア(緑)

サブテーマ4：石西礁湖におけるサンゴ礁性生物の 再生産および関連する環境動態の把握

(独)水産総合研究センター西海区水産研究所
亜熱帯研究センター

鈴木 豪、亀田 卓彦、福岡 弘紀、名波 敦、山下 洋

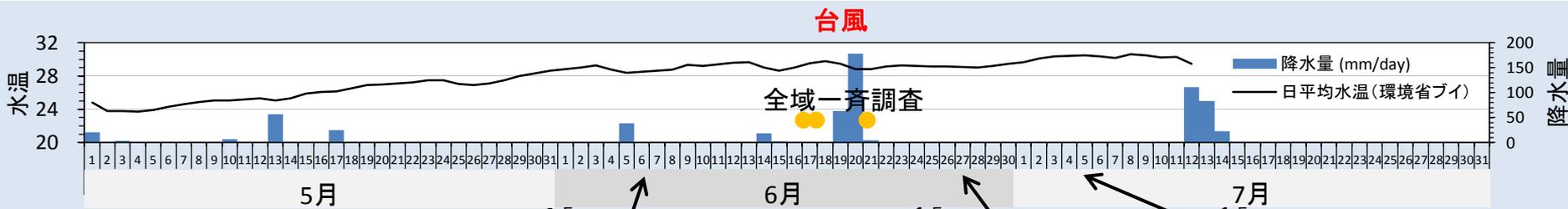
オニヒトデ餌料環境調査

目的:オニヒトデの幼生浮遊期間(5月下旬~7月上旬と予想される)における植物プランクトンを主とした餌料環境の時間的変動を明らかにする



幼生の生き残り仮説における、オニヒトデ大量発生メカニズムを検証あるいは予測する基本情報となることが期待される

オニヒトデ幼生の餌となるサイズの植物プランクトン量

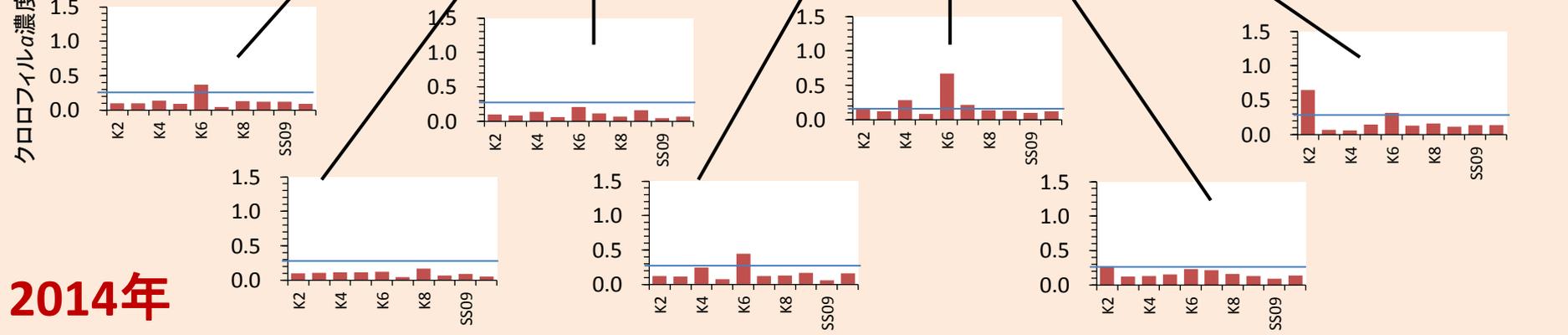


0.25 μ g/L以上でオニヒトデ幼生の生残率が高い (Fabricius et al., 2010)

2013年

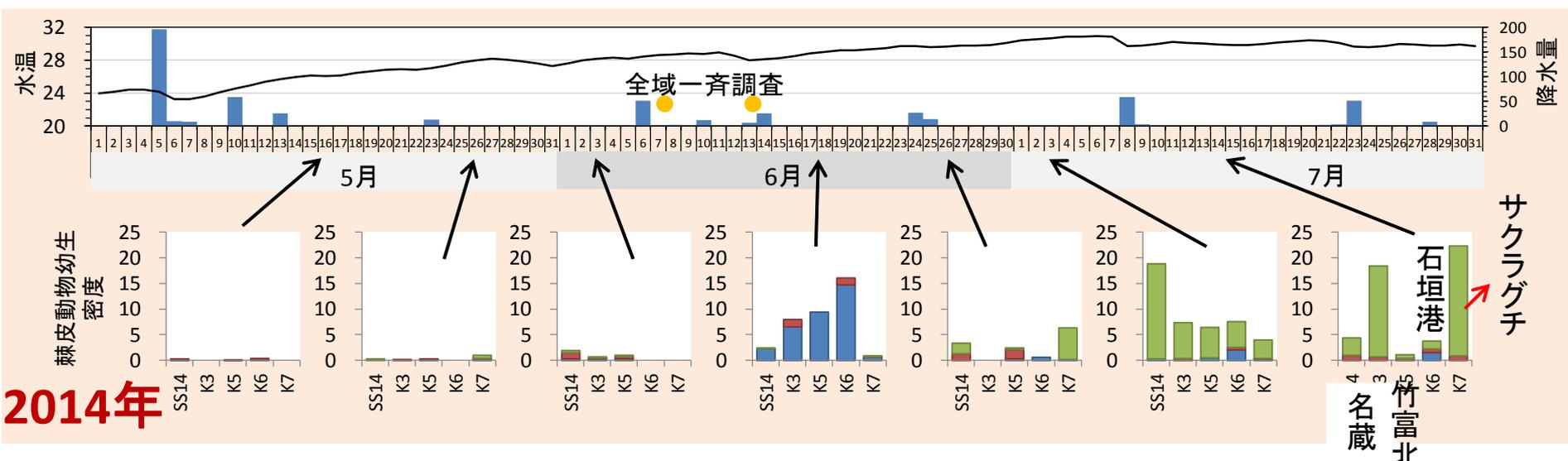
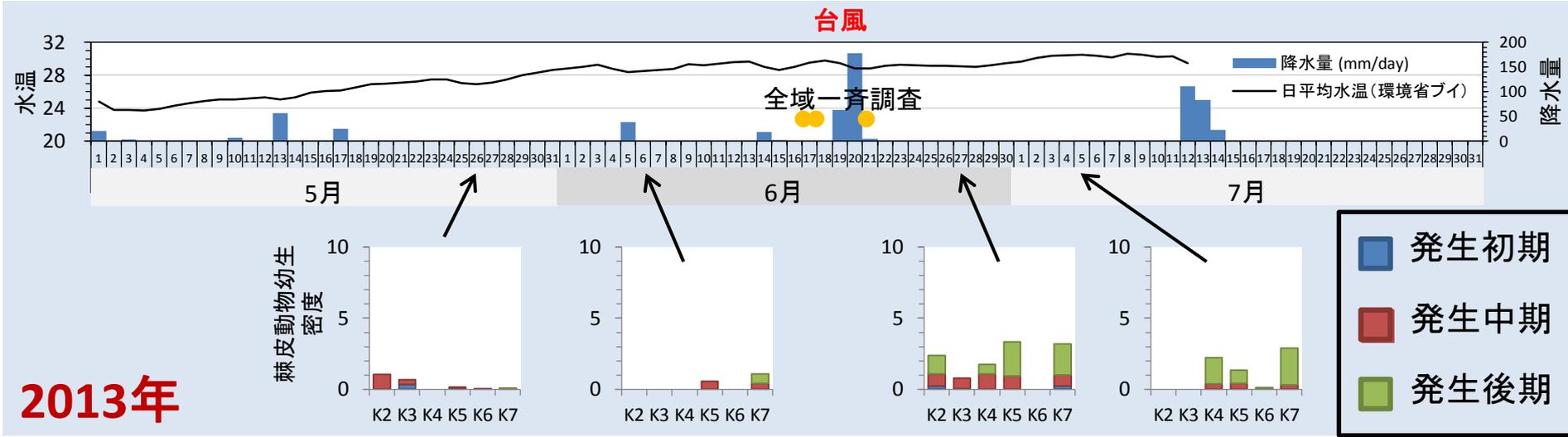


2014年



2013年に比べて、2014年は非常にクロロフィルa濃度が低く、オニヒトデの幼生が生き残るレベルにない。⇒雨量が影響か？

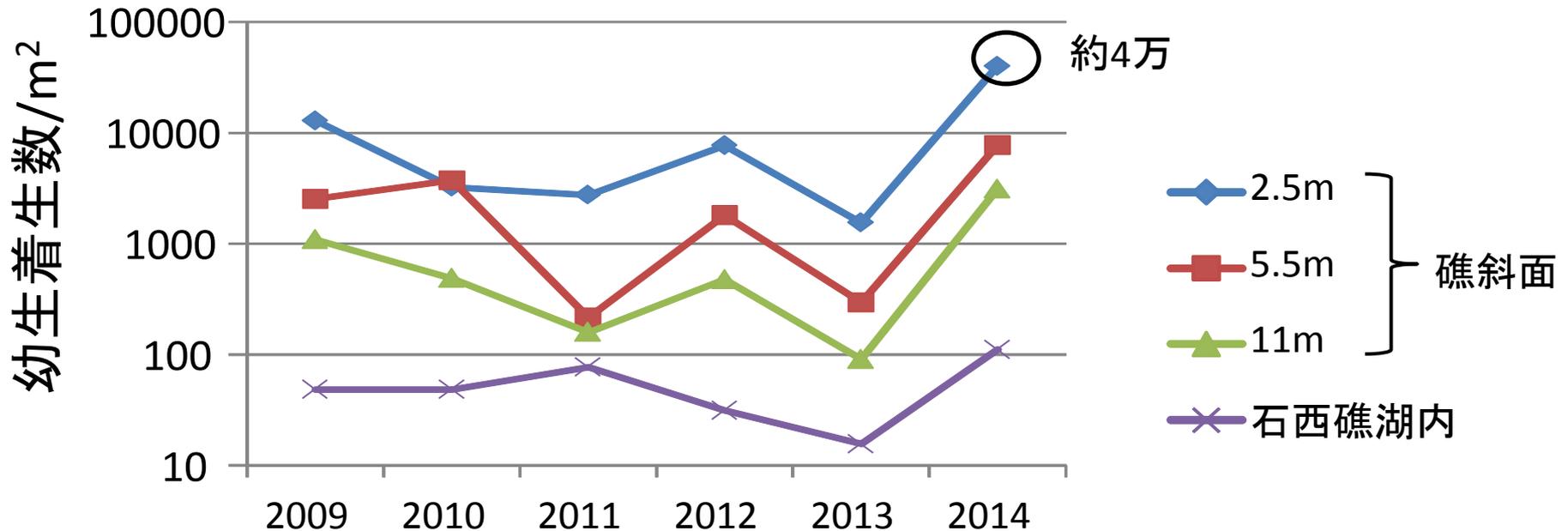
海水中のヒトデ・ナマコ類幼生の密度(個体数/m³)



・6月下旬から発生後期のヒトデ類幼生が出現
 ⇒ (オニヒトデ以外も交じっているが)6月下旬から7月上旬がピークか!?

サンゴ回復の遅れ＝幼生加入不足？

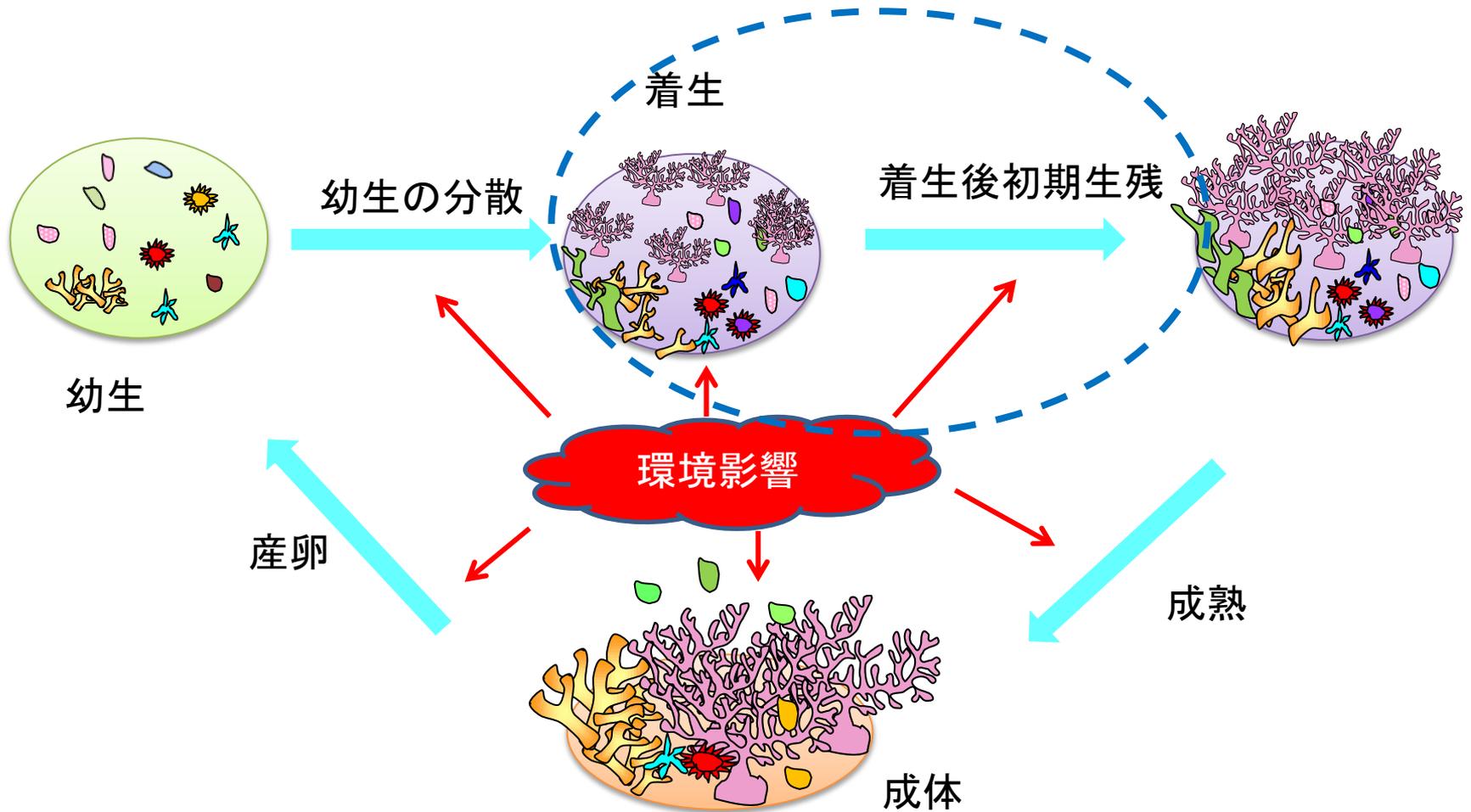
過去5年間のミドリイシの天然幼生加入量



礁斜面上部と比較すると石西礁湖内では、
幼生加入量が**約100分の1**程度で、非常に少ない

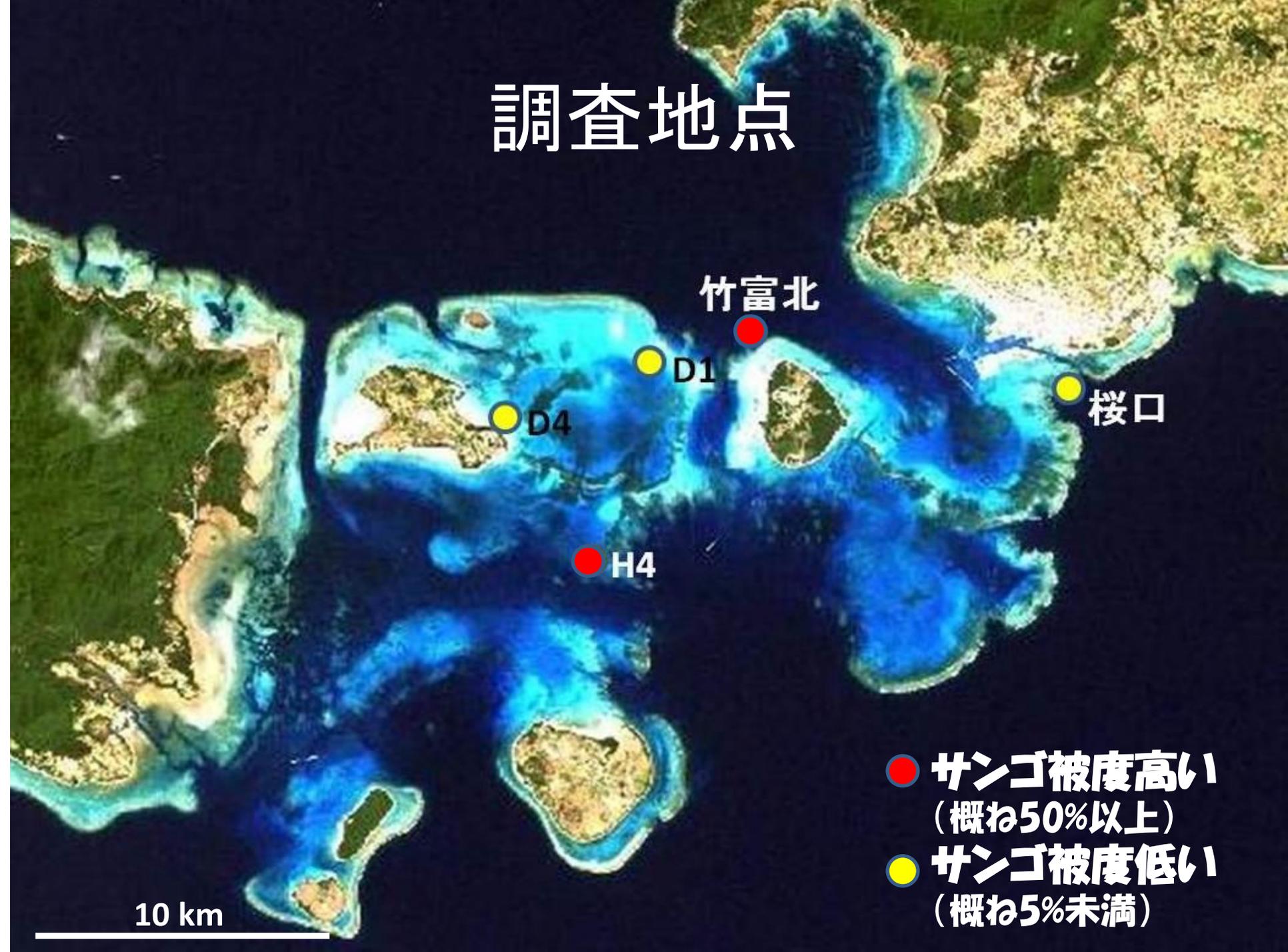
➡ さらに、着生直後の死亡率の高い時期ではどうか？

着生直後の生残比較試験



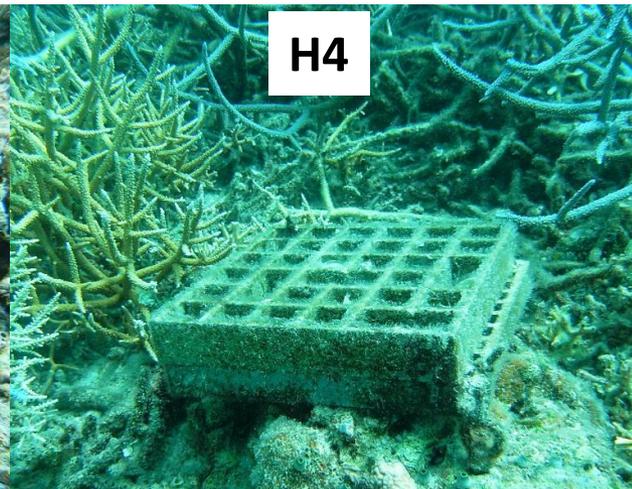
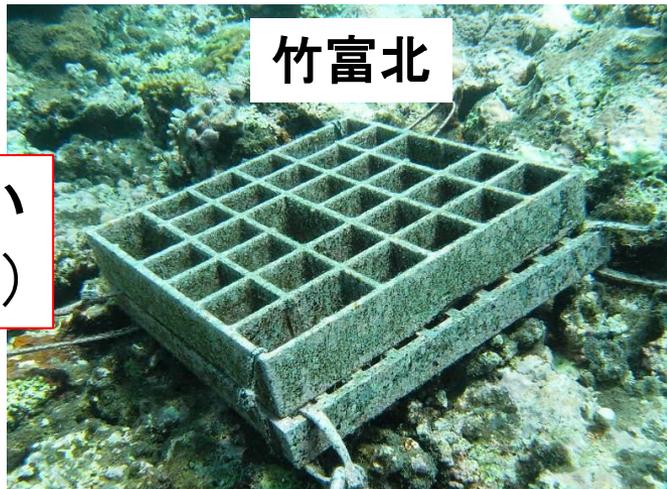
目的:これまで不明であった、野外における着生直後のサンゴ幼体への環境ストレスの影響を調べる

調査地点

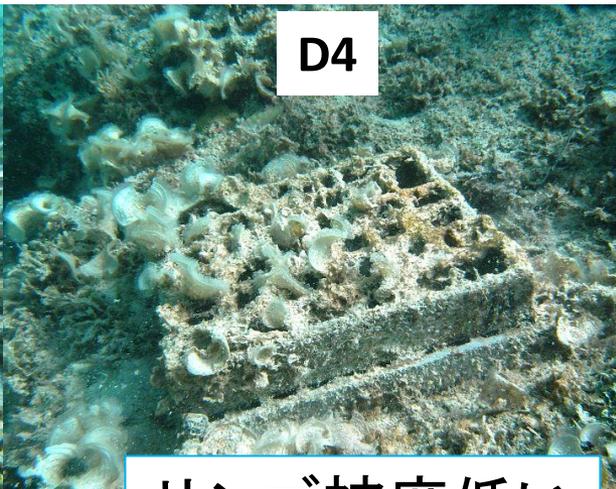
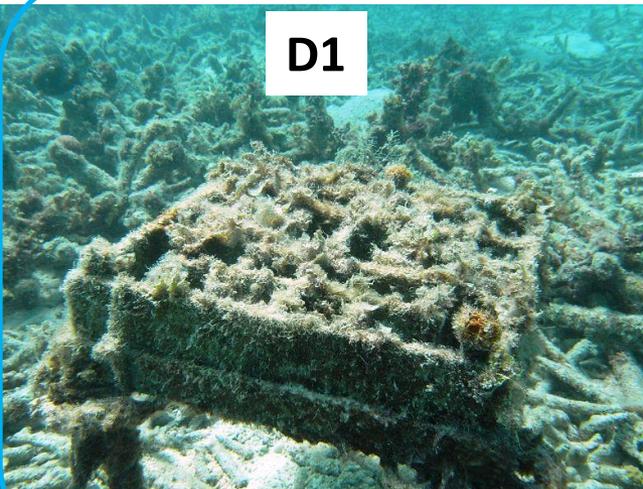


- サング被度高い
(概ね50%以上)
- サング被度低い
(概ね5%未満)

着生から1か月後の基盤状況

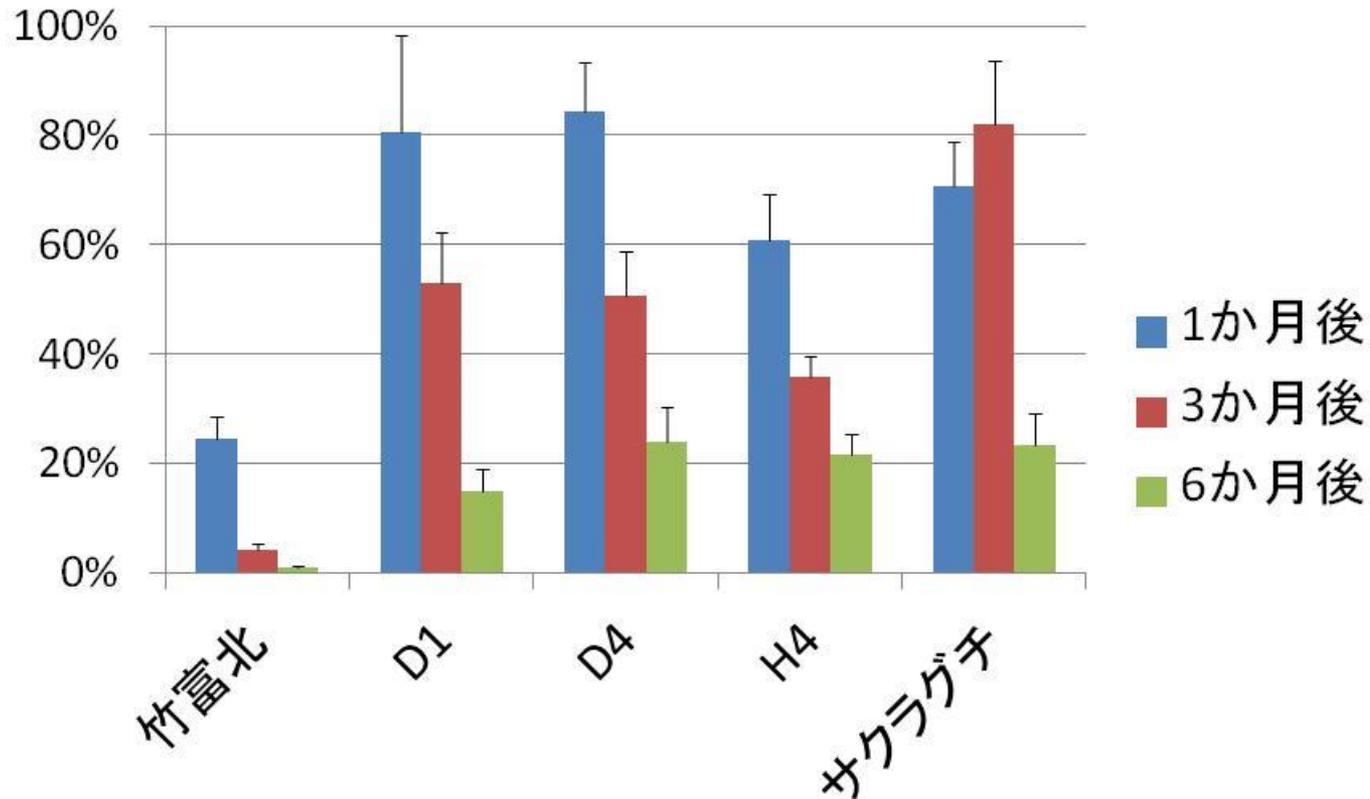


サンゴ被度高い
(概ね50%以上)



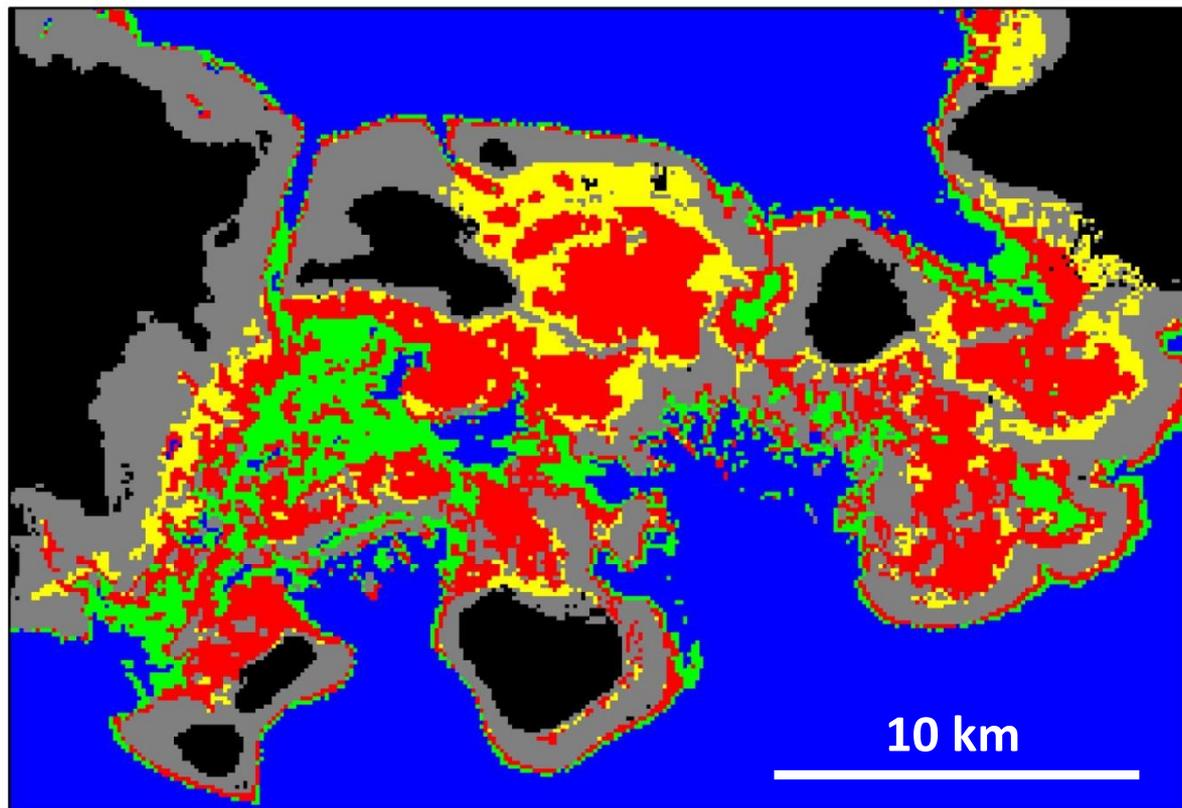
サンゴ被度低い
(概ね5%未満)

着生後半年間のミドリイシの生残率



サンゴ被度の低さや海藻の被覆量など、環境ストレスが強いと思われる場所でも多く生き残っている

石西礁湖内のサンゴ群集はどの程度存在可能か？ —光環境から見た場合—



ミドリイシ属サンゴの分布
範囲

黄：水深0～3m

(5187ha：全体の28%)

赤：水深3～11.5m

(8670ha：全体の46%)

緑：水深11.5～19.2m

(4654ha：全体の26%)

青：水深19.2m～

	消散係数	サンゴの生息限界
現在	0.12	19.2m
最も濁ったとき	0.2	11.5m

ただし、サンゴの生息限界は、光量が表層の10%の水深とみなす

成果のまとめ(サブテーマ4)

- オニヒトデ(と思われる)幼生の出現時期は6月下旬から7月上旬がピーク。
 - 雨量によって餌となる植物プランクトン量は大きく変動する。
 - サンゴの着生環境は、サンゴ被度の低い場所で海藻被度が高く、褐虫藻の多様性が低い。
 - にもかかわらず、サンゴの着生直後の生残が、回復の遅い場所でも低くないことが明らかとなった。
- ⇒ 幼生供給で回復を促すことが可能かもしれない