

石西礁湖自然再生協議会・学術調査WG報告会 2013.8.31  
(平成25年度環境研究総合推進費新規課題ヒアリング 2013.2.4)

# 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 (東京工業大学): 研究代表者

渡邊 敦 (東京工業大学)

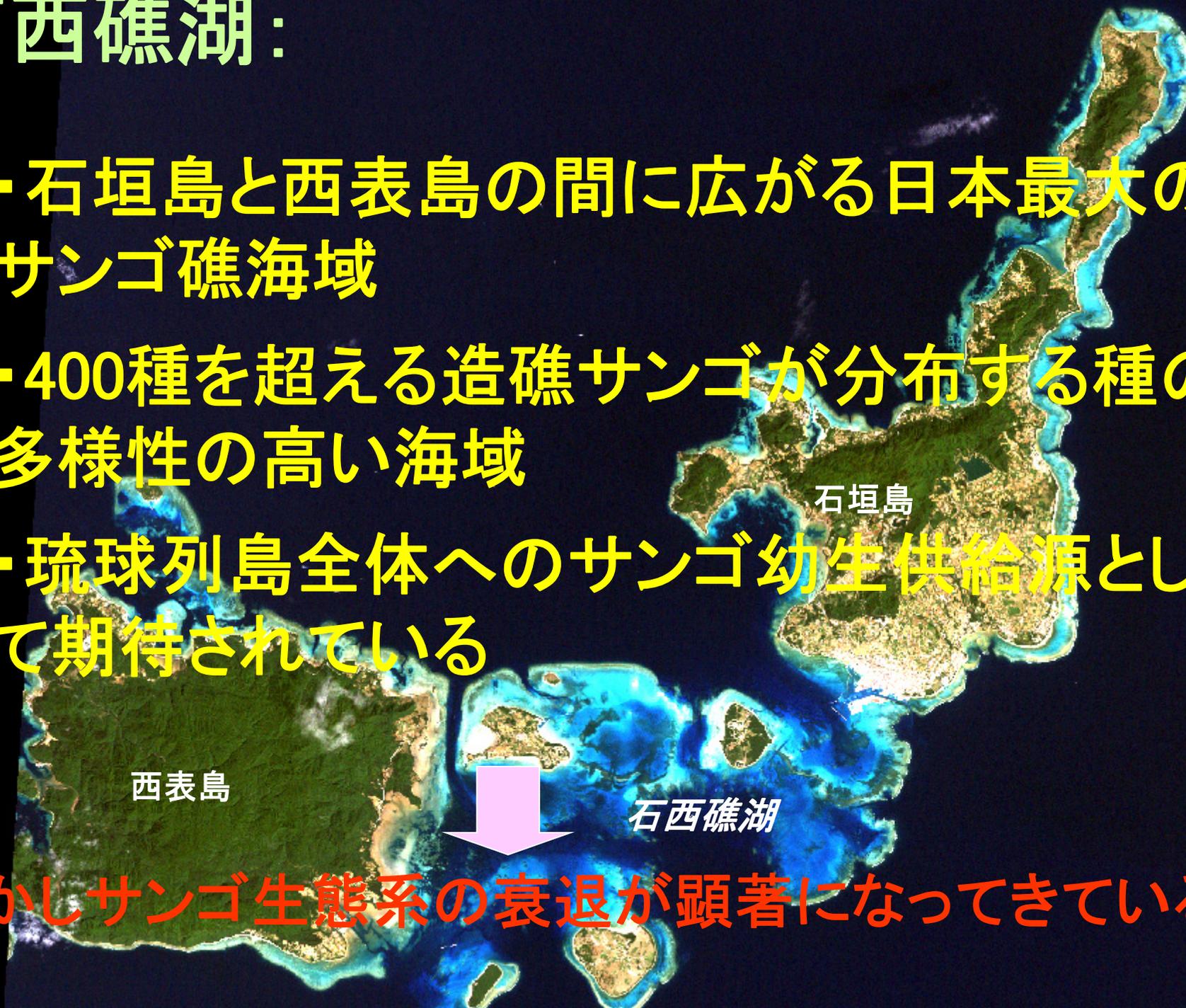
長井 敏 ((独)水産総合研究センター・中央水産研究所)

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)

# 石西礁湖:

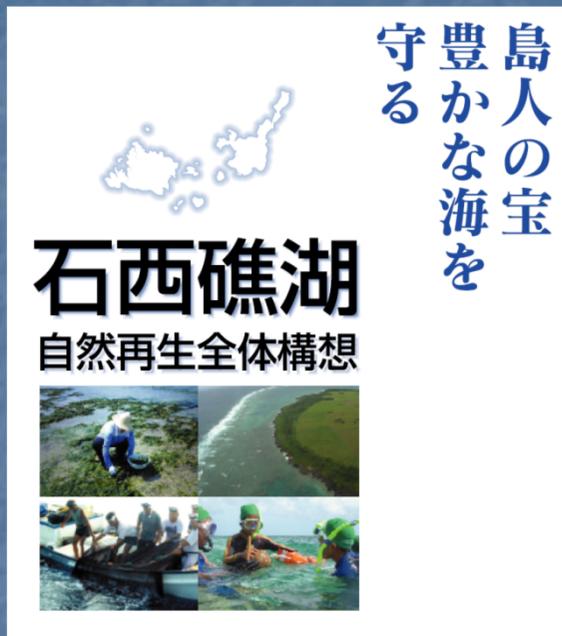
- ・石垣島と西表島の間広がる日本最大のサンゴ礁海域
- ・400種を超える造礁サンゴが分布する種の多様性の高い海域
- ・琉球列島全体へのサンゴ幼生供給源として期待されている



しかしサンゴ生態系の衰退が顕著になってきている

# 石西礁湖自然再生協議会

(2006年2月発足)



(2007年9月リリース)



短期目標：  
(10年先)

サンゴ礁生態系の回復の兆しが見られるようにする。  
そのために環境負荷を積極的に軽減する。

しかし、サンゴ礁生態系の劣化はより深刻になっている！  
短期目標達成に向けての有効な科学的知見の提供が急務

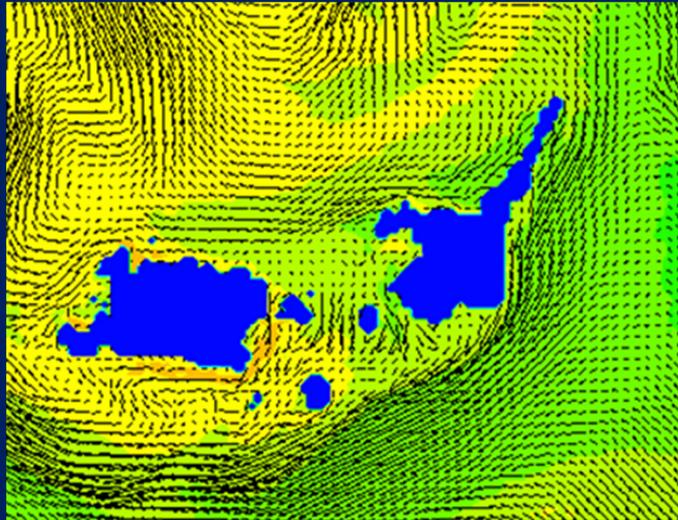
# 2004年 サンゴ被度平面分布



(環境省モニタリングサイト1000データ)



# 2008年 サンゴ被度平面分布



海流シミュレーション例



凡例

サンゴ被度 (%)

●	0 - 25
●	25 - 50
●	50 - 75
●	75 - 100

農地

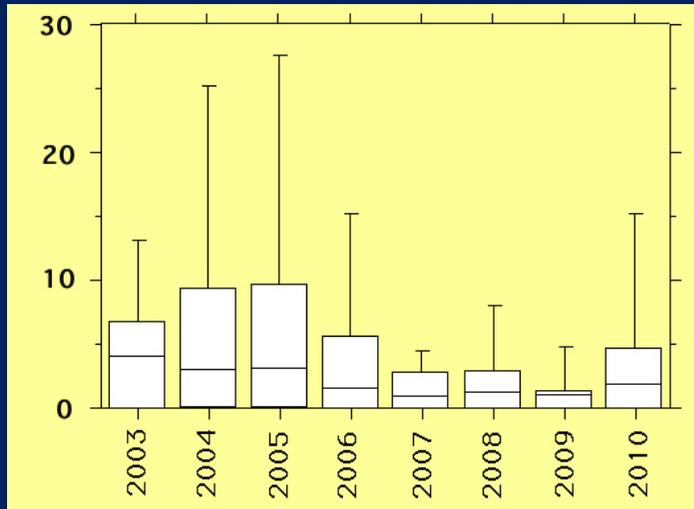
市街地

赤土・栄養塩等の  
陸源負荷の影響?

幼生分散・加入過程に基づく  
Reef connectivityの効果?

陸域に接していない石西礁湖中・南部海域  
のサンゴ群集が何故衰退しているのか?

## 石西礁湖の稚サンゴ量の経年変化

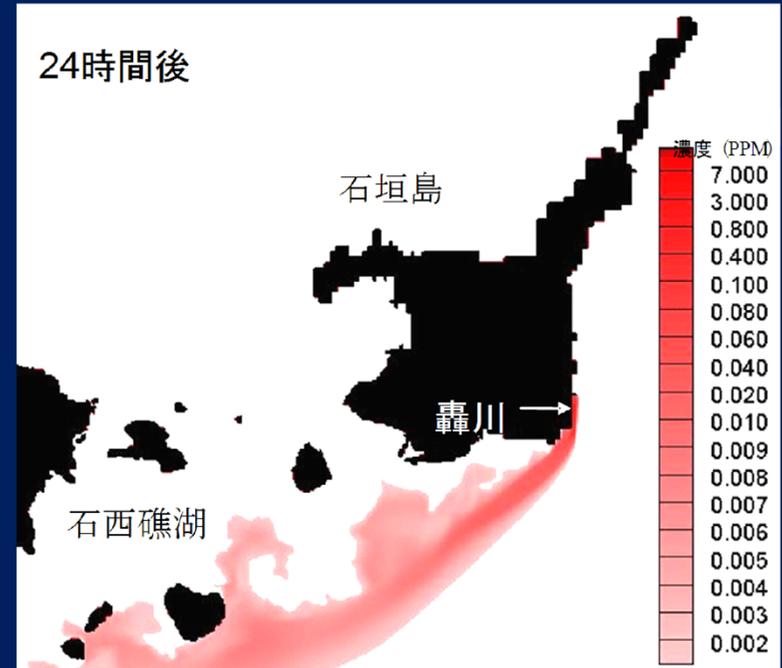


- ・供給側(source)の幼生供給能力の減退？
- ・加入先(sink)の環境劣化の影響？
- ・加入後の初期生残率の減少？



source-sink連結構造がサンゴ群集の維持に十分機能しない状況 → レジリエンス劣化？

## 赤土の移流拡散に関する予備的 数値シミュレーション結果の例

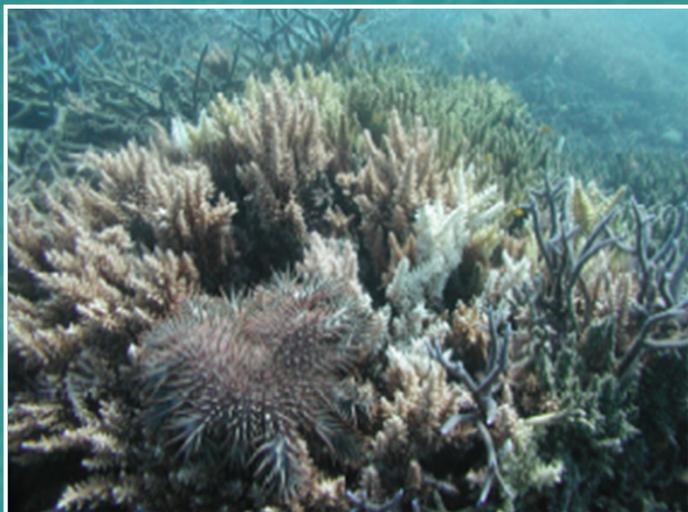


環境ストレス自体の  
connectivityの存在

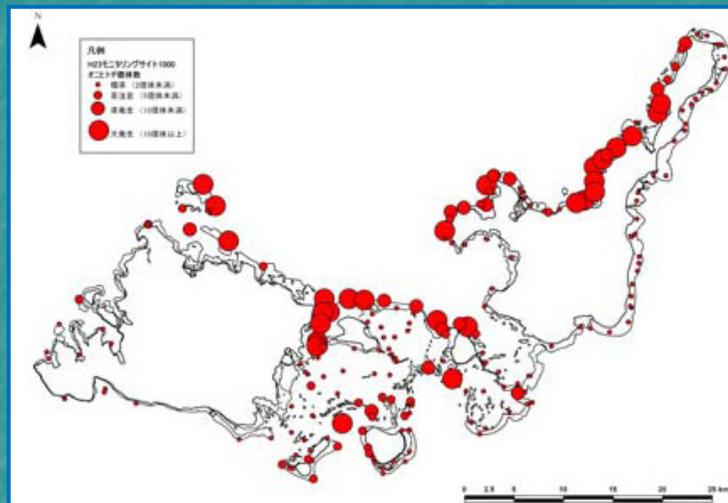
「島嶼－サンゴ礁－外洋統合ネットワーク系」  
としての実態解明の必要性

# もう一つの大きな脅威： オニヒトデ大量発生

2007頃から食害が深刻化



オニヒトデの大量発生状況(2011)



**大量発生・持続機構は未だに解明されていない！**

後追いのオニヒトデ駆除の努力に頼らざるを得ないのが現状

機構解明に向けてのポイント：

「産卵－幼生分散－加入－稚ヒトデ－成体」サイクルから見た環境影響評価、  
特に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

このためにも「島嶼－サンゴ礁－外洋統合ネットワーク系」から見たアプローチが必要

## 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 of 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

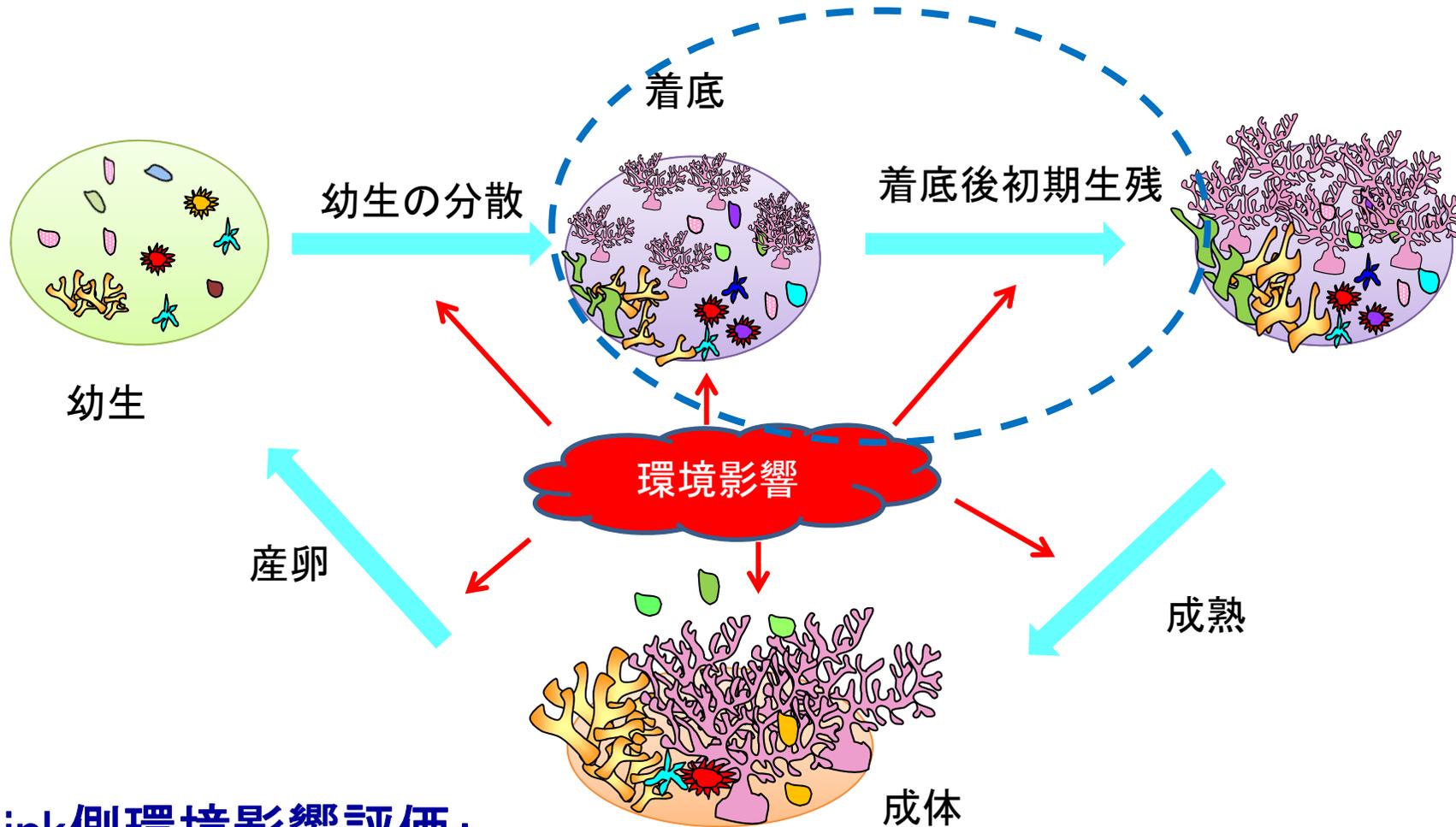
A) サンゴ礁生物の幼生分散・加入によるsource-sink多重連結構造の実態解明と環境影響評価、それによる”負の連鎖構造”の解明

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

# 加入先(sink側)の初期減耗への環境影響評価

## ①多地点の異なる環境条件での加入量の野外調査の実施

加入量調査の従来の問題点:

- ・天然岩盤上で着生個体の発見が困難
- ・人工基盤上では生残率が非常に低い(環境の影響を抽出できない)



着生後の初期減耗を軽減できる**新たに開発した人工基盤**を導入  
→ 野外における初期減耗が評価可能

新規に開発した格子状基盤上のサンゴ(着生から1年半後)

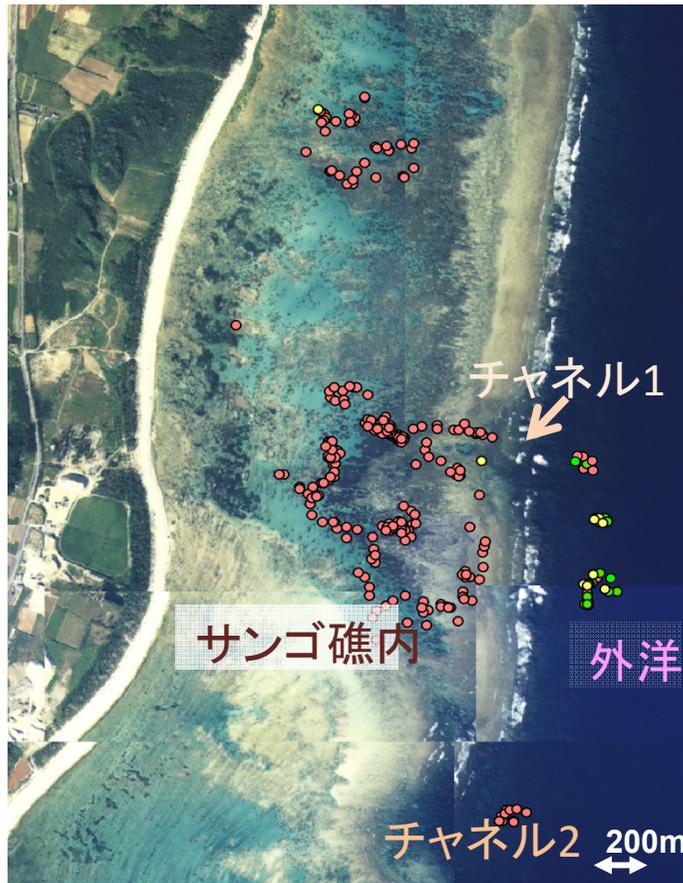


## ②複合環境負荷評価数値モデル開発と応用

開発済みの海水流動モデルやリーフスケール赤土輸送・熱輸送・物質循環モデル等をベースとして、「島嶼ーサンゴ礁ー外洋統合ネットワーク系」における**複合環境負荷要因の時空間変化を解析可能にするモデルシステム**を構築し、それによる環境評価と上記の初期減耗データを比較解析



# 多重スケールreef connectivity構造の解明



(例): 石垣島白保サンゴ礁でのアオサンゴ遺伝子型の空間分布  
同じ色は類似の遺伝子型

## <サンゴ礁(リーフ)スケール>

リーフ内とリーフ外で遺伝子型が有意に異なる(左図の例参照)・・・サンゴ礁内外の地形特性に対応したローカルな環境条件の違いによる適応選択?

+

## <島スケール>

外洋プロセスを介した島嶼沿岸リーフと石西礁湖間および礁湖内のreef connectivity matrix



## Connectivity解析のツール:

集団遺伝学的解析(長時間スケール解析)

幼生分散数値シミュレーション

(短時間スケール解析)

+

複合環境負荷評価数値シミュレーション

# 統合モデルシステム開発

陸域負荷評価モデル＋海水流動モデル＋物質循環モデル＋幼生分散・生態系応答モデル

環境省推進費H20-22年度研究課題「SEA-WP海域における広域沿岸生態系ネットワークと環境負荷評価に基づく保全戦略」(課題番号:D0802)や本年度で終了する科研費・新学術領域研究「サンゴ礁学」等で開発してきたモデル群がベース

**陸源負荷評価モデルの拡張**－石垣島の一部に対して開発している評価モデルの石西礁湖周辺島嶼域全体に拡張(発生源自体の評価・予測モデルを含む)

**海水流動モデルの高度化**－リーフスケールモデルと多重ネスティング海流モデルのカップリング

**物質循環モデルの拡張**－リーフスケールでの赤土輸送や栄養塩動態モデルを上記の海水流動モデルに組み込む形でリーフ＋島スケールに拡張

**幼生分散モデルの高度化**－幼生の鉛直移動挙動や体内脂質の消費過程、捕食圧の評価等に基づく分散個体の生物的な側面のモデル化とその組み込み

**複合環境負荷の下での加入先生態系応答モデルの高度化**－幼生加入効果や初期減耗効果の取り込みによるサンゴ群集動態モデルの高度化

## 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？**

幼生生残に効く $0.25 \mu\text{g/L}$ 以上 (Fabricius et al., 2010) のクロロフィルa濃度の海域は有意に存在するのか？するとすればその陸源負荷発生原因は何か？

時空間的な変動性が大きい栄養塩環境を現地での採水調査のみでは評価困難



陸域負荷評価モデル＋海水流動モデル＋物質循環モデル＋幼生分散・生態系応答モデルの応用としての**オニヒトデ餌料環境評価モデル**の開発と解析

→大量発生を抑えられる栄養塩陸源負荷生成レベルを評価可能？

# オニヒトデ幼生の餌料環境の現地検証と 餌料内容・環境影響の詳細評価

オニヒトデ幼生0.2mm



課題：  
オニヒトデ幼生同定技術が未熟  
オニヒトデ幼生の野外での餌生物の実態が不明

海水サンプルのメタゲノム解析による  
エサ候補となる植物プランクトン網羅  
同定で餌料環境を把握

+

リアルタイムPCRによるオニヒトデ幼  
生の簡易検出法開発



野外オニヒトデ幼生の胃内容物の遺  
伝子同定により餌生物を同定



餌生物を培養し、栄養塩環境による増殖率を算出



オニヒトデ餌料環境評価モデルの検証と高度化に向けてのfeedback

# 乱獲説：捕食者減少がオニヒトデ大量発生を助長？



サンゴ礁沿岸魚類の乱獲



大小型魚類や底生小型甲殻類等  
が生態系全体に影響する可能性

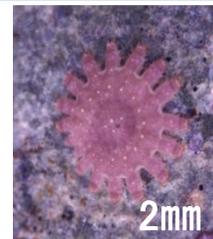
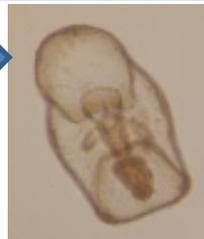
## オニヒトデの捕食者の同定

小型魚類？

大型動物プランクトン？



捕食



捕食

底生小型甲殻類？



飼育実験によるオニヒトデ浮遊幼生の捕食魚類の特定

稚ヒトデの分布調査と胃内容物PCR・メタゲノム解析等で捕食者特定



水産種のうちどの種がオニヒトデ大量発生に関連するか？  
漁獲圧をどの程度まで抑えれば大量発生を助長しないか提示

# 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・渡邊敦

**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

**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

**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)**

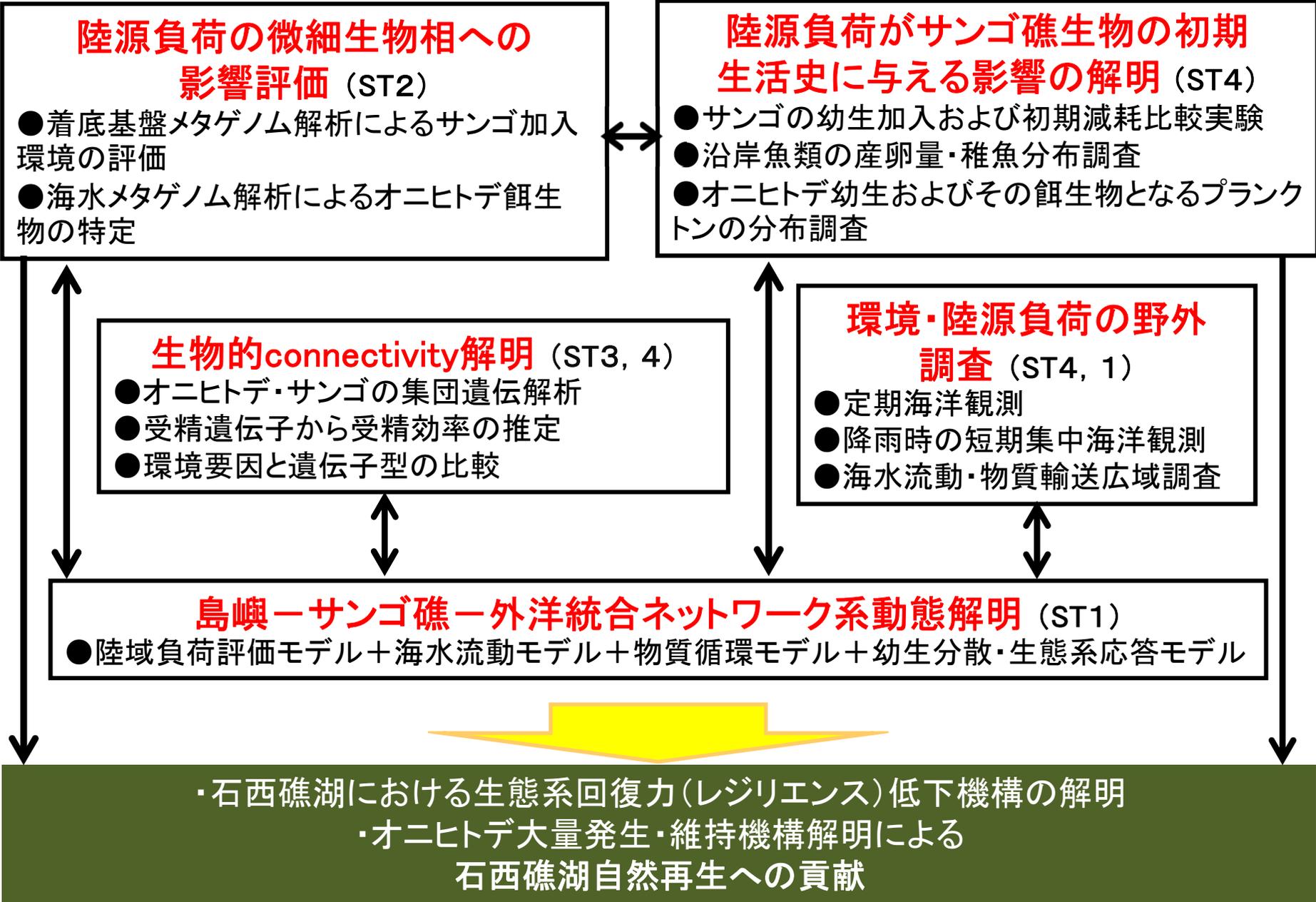
西海区水産研究所・亜熱帯研究セン  
ター 鈴木豪・亀田卓彦・福岡弘紀・  
名波敦・山下洋



密接な連携・協働

石西礁湖自然再生協議会・学術調査WG

# テーマ間連携から見た研究構成



## 期待される成果・行政ニーズへの貢献

### 石西礁湖自然再生協議会(主要事務局:環境省)での短期目標達成に向けての有効な科学的知見の提供

#### <生態系劣化メカニズム解明>

サンゴ礁生態系のレジリエンス低下機構,とオニヒトデ大量発生・維持機構を中心に解明

#### <有効な保全施策の提示>

- 1) サンゴ幼生供給能力のみならず加入能力(“再生ポテンシャル”)の観点から見た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・・・これまでの赤土流出削減目標のみの議論を超えて、オニヒトデ大量発生制御などの観点も踏まえた栄養塩負荷も含めた**総合的陸源負荷削減目標**の提示

本研究の成果は、環境省がH23年3月に策定した**海洋生物多様性保全戦略**でのH25年度以降の主要検討課題の一つとなっている重要海域の保全戦略フレーム策定のひな形の一つになり得る

**愛知目標(2010)**: (目標10)「2015年までに**サンゴ礁**その他の脆弱な生態系について、その生態系を悪化させる複合的な人為的圧力を最小化し、その健全性と機能を維持する」にも貢献できる