

領域略称名：サンゴ礁学

領域番号：4004

平成25年度科学研究費補助金「新学術領域研究  
(研究領域提案型)」に係る事後評価報告書

「サンゴ礁学—複合ストレス下の生態系と人の  
共生・共存未来戦略」

(領域設定期間)

平成20年度～平成24年度

平成25年6月

領域代表者 東京大学大学院・理学系研究科・教授・茅根 創

# 目 次

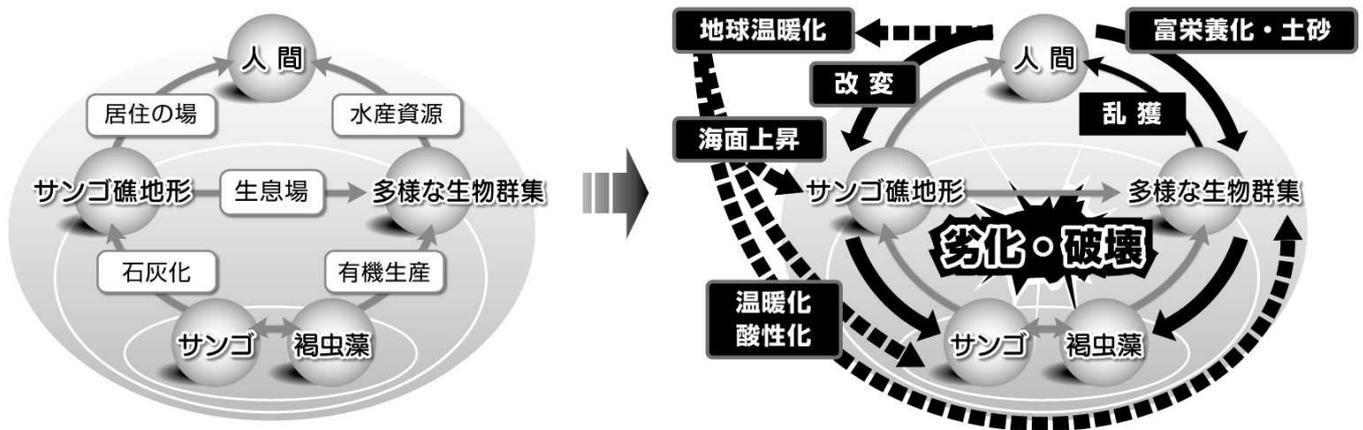
1. 研究領域の目的及び概要	3
2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況	5
3. 研究領域の設定目的の達成度	7
4. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況	10
5. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況	11
6. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）	12
7. 総括班評価者による評価	13
8. 主な研究成果（発明及び特許を含む）	15
9. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）	18
10. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度	24

## 1. 研究領域の目的及び概要（2 ページ程度）

研究領域の研究目的及び全体構想について、応募時に記述した内容を簡潔に記述してください。どのような点が「我が国の学術水準の向上・強化につながる研究領域」であるか、研究の学術的背景（応募領域の着想に至った経緯、これまでの研究成果を進展させる場合にはその内容等）を中心に記述してください。

サンゴ礁は、様々な階層で生物が相互作用する共生系である（図左）。サンゴとその体内の微細藻類（褐虫藻）との共生関係に基づいて、高い光合成生産と石灰化生産が維持されている。光合成生産は食物連鎖の基礎となり、石灰化生産によって作られたサンゴ礁地形は生息場の多様性を創出し、サンゴ礁には海洋でもっとも多様性の高い生態系が展開している。共生の概念を生物と無機環境との相互作用にまで広げるならば、生物が地形を作って物理環境を変えその生息場を産み出すという点で、生態系-地形の共生系であるといってもよい。人にとっても、多様な生物群集は豊富な水産資源となり、サンゴ礁地形は天然の防波堤と居住の場を提供してきた。資源利用という人の利益に基づく片利的なものであったとはいえ、人とサンゴ礁は持続的な共生・共存系を維持してきた。

しかしながら最近数 10 年間に、熱帯・亜熱帯海岸域への人口集中や開発に伴うローカルな環境ストレスによって、サンゴ礁は劣化し破壊されている（図右）。土地改変によって、生態系の基盤であるサンゴ礁地形が破壊され、生息場が断片化してしまった。陸からの栄養塩や土砂の流入と魚介類の乱獲によって、サンゴと生物群集が劣化している。生態系レベルの共生系が崩壊して藻場になり、多様性や地形形成能力を失ってしまったサンゴ礁も多い。こうしたローカルな環境ストレスに加えて、地球温暖化による白化、CO<sub>2</sub>濃度上昇に伴う酸性化による石灰化抑制、海面上昇による水没など、グローバルな環境ストレスによる劣化の危機が迫っている。人とサンゴ礁の関係はもはや共生・共存的とはいえず、人による一方的な破壊が進んでいる。こうした複合ストレスによってサンゴ礁が劣化し破壊されると、サンゴ礁が本来持っていた資源としての多面的な価値は喪失し、環境変化に対する脆弱性も高まる。



劣化・破壊に対して、海洋保護区の設定などの保全策や、栄養塩や土砂の流出抑止など環境ストレスを軽減する制御策が提案されている。さらにサンゴ移植や種苗など修復・再生技術の開発も始まり、一部現地で試験されている。しかしながら、生物、生物群集、地形など特定の階層についての、生物、化学、地学など個別過程の研究は多いが、これらの過程が相互にどのように関係して共生系全体が維持され、ストレスにどのように応答するのかについての研究はない。サンゴ礁の階層的な共生系の維持機構とそのストレス応答が不明なため、環境ストレスの制御レベルをどのように設定したらよいか、保護区や再生技術をどこにどの規模で適用したらよいかについて、科学的な根拠に基づく提案がいまだできていない。

人がサンゴ礁に与えるストレスを制御し、適切な修復・再生策をとり、人とサンゴ礁の新たな共生・共存系を構築するためには、サンゴ礁共生系を人まで含めたシステムとしてとらえ、その素過程から理解することが必要である。その上で、歴史的変遷を復元して過去のストレス応答を評価することによって、現在および将来の複合ストレスに対する応答を評価しうる新たな学術領域を構築することが必要である。そのためには自然科学の融合は言うまでもなく、工学や人文社会科学の融合も必要である。さらに様々な階層において共生系を解析するために、遺伝子レベルでのストレス応答に関する研究や分子生物学、同位体地球化学、地理情報システム、環境経済学など、周辺の先端分野も取り込んで行かなければならない。

本新学術領域の目的は、サンゴ礁共生系の複合ストレスに対する応答モデルを構築するとともに、応答モデルに基づいてサンゴ礁の監視・診断を行う手法を開発し、適切なストレス制御と修復・再生に必要なガイドラインを示し、人とサンゴ礁の新たな共生・共存系構築のための学術的基礎を創ることである。そのためにまず、サンゴ礁の基盤を形成するサンゴと褐虫藻や微生物としての共生系の、複合ストレスに対する応答を、生物、化学的な素過程として室内実験と野外調査において明らかにする。次に、サンゴ礁への人為的な働きかけとその影響の長期的傾向をふまえた上で、過去数 10 年間に急激に増加した環境ストレスと生息場の断片化を復元・評価する。まだ大きな影響として現れていないが、今世紀中に甚大な影響を及ぼすことが予測される地球温暖化については、すでに現れている影響と適応過程の解析や実験によって将来の影響を予測・評価する。また、フィードバックを持つ複合的な環境負荷とサンゴ礁の非線形応答過程のモデル化を行う。モデルは、復元された過去の負荷とサンゴ礁劣化の歴史情報によって検証する。

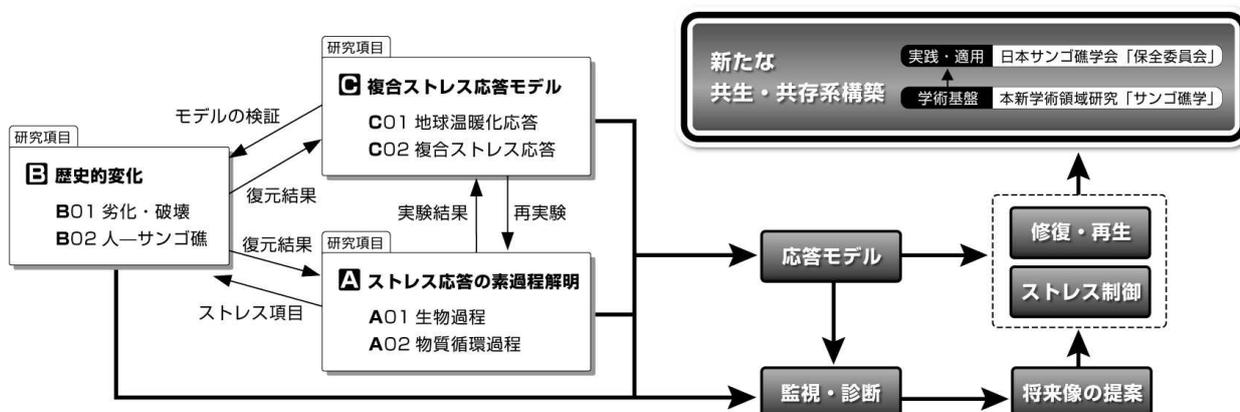
増大する環境ストレス下で人と生態系の持続可能な共生・共存を図ること、それが個別分野からのアプローチでは達成できないことは、生態系や環境を対象とするすべての学術領域に共通の課題である。サンゴ礁はその中で、生物が地形を作り高い生産を持つという点で、生物学、地学、化学分野の融合にもっとも近い対象であり、破壊の危機という課題設定によって自然科学と工学、人文社会科学が現実的に融合し得る領域である。グローバル・ローカル複合ストレスによる劣化を顕在化させている生態系は、他にはあまり例がない。とくに、サンゴ礁は地球温暖化の影響を白化という形で初めて顕在化させた生態系であり、複合ストレスを総合的に示す「指標生態系」の役割をもつと考えられる。そのようなサンゴ礁との共生・共存のための学術領域は、温暖化した地球における人と生態系の共生・共存を考えるモデルケースとなる。さらに、階層的な共生系の複合ストレス応答モデルの構築は、生態学や地球環境学だけでなく、複雑系の応答についてのサイエンスに事実に基づくブレークスルーをもたらすことが期待される。

新しい学術領域の中で、生物、化学、地学、工学、水産、考古・歴史、文化人類学、経済、環境管理など、様々な分野からのアプローチが、サンゴ礁という共通の対象と、新たな共生系の構築という共通課題を核に集結することによって、共通の言葉で最先端の成果を公表し、成果をまとめる過程で、真に学融合的な人材を育成することができる。さらに本学術領域で得られた成果を、サンゴ礁の保全・管理や再生に関心を持つ国内の様々なセクター（環境、水産、国土など）や国内外の大学、政府機関、NPOに積極的に移転する過程で、学術領域だけでなくこれらの多様な分野で活躍する人材を送ることができる。さらに本新学術領域で育成する人材は、学融合的な視野とともに、室内実験とフィールドサイエンス両方の手法を身につけた研究者であり、現場の問題を広い視野から解くことができる人材として、様々な分野での活躍が期待できる。領域で得られた成果に基づく環境ストレス制御や修復・再生策の実行、社会との連携や人材育成は、新学術領域の枠内だけでなく、日本サンゴ礁学会の活動などを通じて幅広く行う。

## 2. 研究組織（公募研究を含む）と各研究項目の連携状況（2 ページ程度）

領域内の計画研究及び公募研究を含んだ研究組織と領域において設定している各研究項目との関係を記述し、どのように研究組織間の連携や計画研究と公募研究の調和を図ってきたか、図表などを用いて具体的かつ明確に記述してください。

目標のために本領域では、「ストレス応答の素過程解明」（研究項目 A）、「歴史的变化」（研究項目 B）、「複合ストレス応答モデル」（研究項目 C）の 3 つの研究項目を設けて、過去および現在のサンゴ礁を研究する（図左下）。



研究項目 A 「ストレス応答の素過程解明」では、室内実験とフィールド調査をベースに、サンゴ礁におけるサンゴ-褐虫藻の共生系 (A01) と物質循環の維持機構 (A02) と、そのストレス応答を調査する。サンゴ礁共生系のもっとも基盤にある素過程を、生物的、化学的 (物質循環) 視点から解明することを目指す。すでに述べているように、サンゴ礁は生物が物質循環を駆動する系であるから、両計画研究は密接に連携して、一部同じ試料やフィールドで実施する。また鍵となるストレス項目は、研究項目 B 「歴史的变化」にインプットして、このストレス項目が歴史的にどのように変化したかを復元する。また、室内実験や生物群集スケールで明らかになったストレス応答は、研究項目 C 「複合ストレス応答モデル」において、フィールドスケールでどのように働くかを比較し、その結果に基づいて条件を調整して A において再実験を実施するなど相互に連携して行う。

研究項目 B 「歴史的变化」では、サンゴ礁生態系自身の変化・劣化・破壊過程とストレスの変化 (B01) と、人とサンゴ礁の歴史的関わり (B02) を、地学、考古学の様々な試資料から復元して地理情報としてまとめる。さらに、歴史的シナリオを将来の共生・共存系維持につなぐために、環境経済学の視点からその現在の価値についても評価する (公募)。本研究項目に含まれる 2 つの計画研究は、同じサイトで研究を行い、自然科学的に復元されたサンゴ礁とストレスの変化や、人との関わりの変化 (景観史) を最終的にはひとつにまとめあげる。研究項目 B で得られた復元結果は、研究項目 A と C の応答モデルを過去の情報によって検証するために用いられる。さらに、本研究項目で作られる地理情報は、サンゴ礁の監視・診断を行う際のベースマップとして利用される。

研究項目 C 「複合ストレス応答モデル」では、生態系・地形の共生系スケールで、応答モデルを構築する。最終的には、グローバル・ローカルな環境ストレス応答モデルの構築を目指す (C02) が、地球温暖化の影響はまだ大きくは現れていないことと、この問題の重要性から別の研究項目に分けて実施し (C01)、C01 で得られた応答シナリオのうちあり得るものを、C02 にインプットする。研究項目 A の素過程の応答モデルを取り入れ、共生系全体の中で個別の応答モデルを評価して、必要であれば素過程のモデルに必要な条件を変えた再実験を A に依頼する。研究項目 B からは復元結果をもらい、C で得られた応答モデルを検証する。

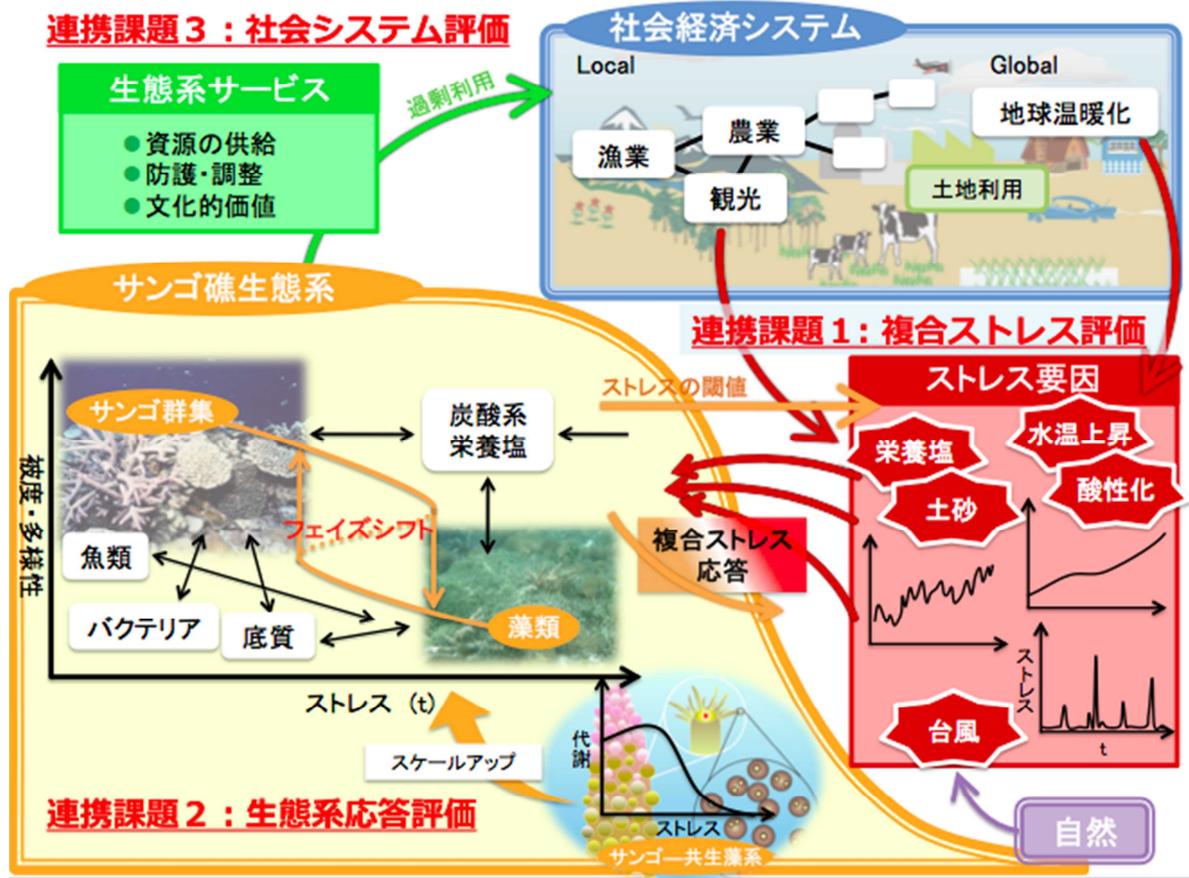
項目内では、研究項目 A では生物と化学、研究項目 B では地学と人文科学、研究項目 C では地球システム学と工学が、緊密に連携して研究を進めている。しかし、各項目内では分野は異なっても研究のアプローチが比較的近く、親和性があるくりになっている。そこで本研究領域では、学際分野の連携をよりいっそう推進するために、アプローチではなく研究課題として、**複合ストレス評価**、**生態系の応答評価**、**社会システム評価**という 3 つの連携課題を設定して、項目を横断する連携を推進した。なお、公募研究もすべて計画研究と連携して行ったので、本報告書では各連携課題、計画研究の成果の中で公募研究の成果も説明している。

各連携課題が設定した目標は、以下の通りである。

**複合ストレス評価**では、主に A01 班と A02 班の連携によって、サンゴ-褐虫藻共生系のスケールでのストレス応答を、遺伝子発現や酵素など代謝産物によって、特定のストレスに対する指標を検出する（成果は、「3.研究領域の設定目的の達成度」の(1)に記述した）。同時に、抽出されたストレス要因について、B01, B02, C01 班において、サンゴ礁スケールでそれら複合ストレスの歴史的な変遷と現在の応答過程を、現地調査、飼育実験、サンゴコア分析、発掘、リモートセンシングによって明らかにする（成果は「8.主な研究成果」の各班の成果に記述した）。さらに、サンゴ-褐虫藻共生系スケールのストレス応答モデルを、次の連携課題「生態系応答評価」において、生態系スケールの応答モデルにスケールアップする。

**生態系応答評価**について、C02 班が中心となって、各班の成果を取り入れ、サンゴ個体からサンゴ礁スケールのストレス応答モデルを開発する。そのために先ず、A02 班と連携してサンゴ個体スケールの「サンゴ内部モデル」を開発し、C01 班とも連携してサンゴ礁スケールの「炭酸系・栄養塩の動態モデル」を開発し、両者を結合してストレスに対する「生態系応答モデル」の開発を行う（成果は、「3.研究領域の設定目的の達成度」の(2)に記述した）。これによって、サンゴ礁スケールでのマクロプロセスとサンゴ内部のミクロプロセスを結合して、複合ストレス下での統合的サンゴ礁生態系応答モデルを構築する。得られた成果は、B01, C01 班において、サンゴ礁の変遷や現在の応答の観測・調査によって検証する（成果は「8.主な研究成果」の各班の成果に記述した）。

**社会システム評価**について、B02 班が中心となって、島嶼社会における人間活動とサンゴ礁との関わりを、考古学・歴史学・経済学的な時間スケールで明らかにして、研究成果を研究対象地域に還元することが目的である（成果は、「3.研究領域の設定目的の達成度」の(3)に記述した）。過去のローカル・グローバルなストレス・環境変化と人間活動の関係について B01 班, C01 班と連携し、現在の社会システムとストレス評価について、C02 班と連携して研究を進める。



### 3. 研究領域の設定目的の達成度（3 ページ程度）

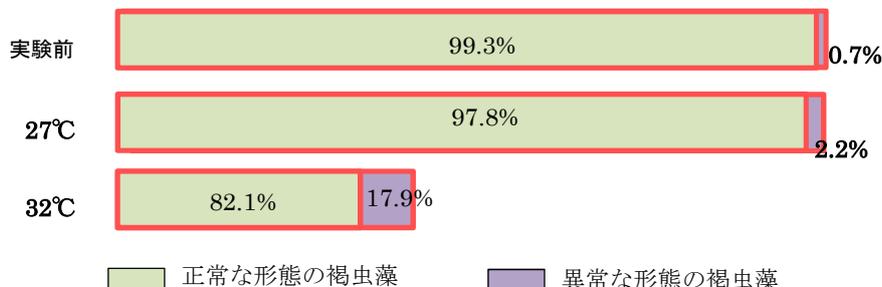
研究期間内に何をどこまで明らかにしようとし、どの程度達成できたか、また、応募時に研究領域として設定した研究の対象に照らしての達成度合いについて、具体的に記載してください。必要に応じ、公募研究を含めた研究項目毎の状況も記述してください。

本研究領域では、前述のとおり学際分野の連携を推進するために、複合ストレス評価、生態系の応答評価、社会システム評価という3つの連携課題を設けて研究を進めたので、達成度もこの3つの連携課題ごとにまとめる。各連携課題の目標は、前項「2. 研究組織と各研究項目の連携状況」の最後に記した。

#### （1）連携課題「複合ストレス評価」

##### ① 複合ストレスに対するサンゴ-褐虫藻-バクテリアによる複合共生系の応答（A01・A02）

サンゴのストレス応答を、とくに初期生活史に焦点を当てて調べた。褐虫藻の存在がプラナラ幼生のストレス感受性を高めること、褐虫藻のタイプによりサンゴ幼群体のストレス応答が異なること、ストレス特異的に反応して発現が変化する遺伝子があることを発見した。すなわちウスエダミドリイシの一次ポリプを、高温ストレス、有機スズ（TBT）、光合成阻害剤（DCMU）に暴露し、発現変化する遺伝子を調べた結果、各ストレスに特異的に反応して発現が上昇する遺伝子が見つかった。さらに群体型や遺伝子型などの違いによるサンゴのストレス応答の違いも明らかにできた。ミドリイシ属サンゴの幼生に人工的に褐虫藻を感染させると、高温や強光ストレス感受性が高まる。ストレス条件下では褐虫藻が活性酸素発生源となるためである。ウスエダミドリイシとハナヤサイサンゴ2種の幼生と成群体とで呼吸の温度依存性を調べた結果、幼生は成群体に比べて $Q_{10}$ （温度依存性を示す値）と呼吸速度のどちらも低く、幼生はエネルギー消費を抑えて高温ストレス耐性を高めている可能性が示唆された。高水温ストレス下で褐虫藻は光合成能を低下させ、それによりサンゴは褐虫藻からの有機物の供給が減少する。しかし、サンゴ自身も高水温下でストレスを受け、呼吸活動が増加し、消費する有機物をより必要とする。そのため褐虫藻の消化がより行われることにより、褐虫藻の色素が失われる割合が増加する。とくにサンゴ体内の活虫藻は高水温下で半分以下に激減するだけでなく、異常な形態（縮小）の割合も増加する（図）。



##### ② 複合ストレスに対する複合共生系の化学的応答・指標（A01・A02）

海水温の上昇と紫外線量の増加によるストレス指標として、炭酸脱水素酵素や緑色蛍光タンパク質の遺伝子発現、DNA 損傷および脂質組成の変化がサンゴの高水温下におけるストレス指標として有効であることを見出した。また高水温ストレス下ではサンゴがタンパク質やアンモニアを高濃度で放出すること、それに伴いタンパク質分解酵素であるプロテアーゼが放出され、褐虫藻、サンゴの組織の一部が損傷を受けることを見出した。また高温および紫外線増加のストレス下ではサンゴ内に共生する褐虫藻の色素であるペリジニンとクロロフィル a 濃度が減少すること、アミノ酸組成も変化し、プロリン等のアミノ酸が増加することを見出した。ユビドリンのゲノム情報が利用可能となり (Shinzato et al. 2011)、細胞内酸化ストレス状態の指標となる酸化型チオレドキシン、活性酸素除去系のカタラーゼ、サンゴの石灰化および褐虫藻の光合成に重要な役割を果たす炭酸脱水素酵素などのストレスパラメータとしての有用性を明確にする道筋が拓かれた。

##### ③ ミクロからマクロスケールまでのストレス評価（様々な時間空間スケール）（B01・A01・A02・C01・C02）

ストレス要因を挙げ、それらをグローバルな環境要因（制御不能）、ローカルな負荷要因（制御可能）と、それらにより影響されるサンゴ礁の系内の攪乱要因（生物的要因）に区分した。ミクロスケールではサンゴの胃腔中のバクテリアの細胞数は  $10^7/L$  のオーダー、サンゴの外側の海水中のバクテリア数  $10^5/L$  に比較してかなり高いことを明らかにした。サンゴ内部のストレス指標として、ビタミン  $B_{12}$  の濃度も指標になる。サンゴ内では  $100\text{-}700\text{pM}$  に対して、海水中では  $2\text{-}5\text{pM}$ 、サンゴ内で高いということ、高い水温下では濃度は低くなることを明らかにした。世界で初めてのサンゴ内部の測定からサンゴの周りの海水に対してサンゴは半閉鎖系な振る舞いをしていることを明らかにした。環境ストレス下におけるサンゴの生命維持とビタミン・アミノ酸との関係の重要性を明らかにした。サンゴ内部の栄養塩循環が明確になった。複合共生系のストレス応答に関する生物・化学過程の理解のための有用な指標のいくつかが確定できた。

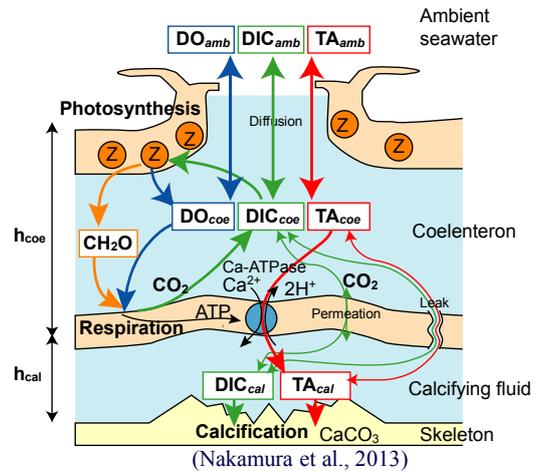
マクロスケールでは、陸域から負荷の指標としての硝酸濃度の分布および変動を整理し、ストレス指標として機能すること、硝酸負荷とサンゴ礁の劣化が歴史的にも密接に関係していることを明らかにした。またグローバルなストレス要因の閾値として、水温（+2度）と酸性化（ $\text{pH}7.8$ ）をフィールドと飼育実験で統合的に定めることに成功した。

## (2) 連携課題「生態系応答評価」

サンゴ礁生態系応答モデルの開発はC02班が中心となって担当し、そのコアとなるサンゴ内部モデル（ポリプ）モデルの開発とサンゴ礁物質循環・低次生態系モデル（微生物ループも含む）の開発にあたっては適宜A02班と連携して取り組んだ。以下にモデル開発の内容について述べる。

### ① サンゴ内部モデル（ポリプ）モデルの開発

複合ストレス下でのサンゴ礁生態系の動的応答過程を理解するための方法論の一つとして、高水温負荷や酸性化負荷、栄養塩負荷といった個別の負荷条件の下でのサンゴ片の室内暴露実験を行う研究が数多く行われてきているが、それによって現地のサンゴ礁生態系でのサンゴ群体の実際の挙動を十分に説明することは出来ない。というのも、実際の現地のサンゴ礁生態系では、これらの各ストレス要因がさまざまな時間スケールで常に変動をしていて室内暴露実験のような一定負荷条件ということはありません。しかもこれらの負荷要因が同時に作用していることから、「現実の複合環境ストレス下でのサンゴ礁生態系の動的な応答の解明」という課題に対して、このような方法論で取り組むには原理的には限界があるからである。C02班では、この原理的な限界を克服することが出来る新たな方法論として、複合ストレス下でのサンゴ群体内部の動的応答過程を表す、従来にない「サンゴ内部モデル（ポリプモデル）」(Nakamura et al., 2013)の開発に成功した。このモデルは、サンゴの石灰化の概念モデルとして幅広く受け入れられている trans-calcification モデルを基に定式化を行ったもので（図）、サンゴの石灰化に特徴的にみられる“光に促進された石灰化（light-enhanced calcification）”と呼ばれる現象や、石灰化や光合成の海洋酸性化応答や流速依存性などの基本応答が、このポリプモデルによっては良く再現することが示された。さらに、栄養塩や水温、赤土の影響などのストレス応答の素過程の解明をA02班と共同で行い、それらの素過程をこのモデルに組み込むことに成功した。得られたモデルにより、フィールドで観察されているサンゴ群体のストレス応答に近い応答特性が再現された。



このモデルは、サンゴの石灰化の概念モデルとして幅広く受け入れられている trans-calcification モデルを基に定式化を行ったもので（図）、サンゴの石灰化に特徴的にみられる“光に促進された石灰化（light-enhanced calcification）”と呼ばれる現象や、石灰化や光合成の海洋酸性化応答や流速依存性などの基本応答が、このポリプモデルによっては良く再現することが示された。さらに、栄養塩や水温、赤土の影響などのストレス応答の素過程の解明をA02班と共同で行い、それらの素過程をこのモデルに組み込むことに成功した。得られたモデルにより、フィールドで観察されているサンゴ群体のストレス応答に近い応答特性が再現された。

### ② サンゴ礁炭酸系動態モデル動態モデルの開発

上記のサンゴ内部モデルの開発と併行して、サンゴ礁スケールでの複合ストレスの時空間変動評価ならびに生態系応答評価の両面に関わるモジュールの一つとして、サンゴ礁炭酸系動態モデル動態モデルの構築を行い、沖縄・石垣島東海岸サンゴ礁域での現地調査データを良好に再現することに成功した (Watanabe et al., 2013)。同モデルによる解析の結果、サンゴ礁内での炭酸系動態が、サンゴ礁内海底被覆分布や海水流動変動に基づく大きな時空間変動性を示し、特にCO<sub>2</sub>吸収・放出特性がサンゴ礁内で大きなコントラスト分布を示すことを明らかにした。この成果は、サンゴ礁内のたかだか1、2点での定点観測データの解析に基づく従来の炭酸系動態研究の限界を打破するものである。

### ③ サンゴ礁物質循環・低次生態系モデルの開発

サンゴ礁内での複合ストレスの時空間変動評価ならびに生態系応答評価の両面に関わるもう一つのモジュールとして、サンゴ礁における栄養塩や有機物の物質循環ならびに低次生態系の時空間応答過程を解析対象としたモデル開発をA02班と連携して行った。このモデルは、詳細な流動場モデルをベースとして、水柱の生食連鎖と微生物循環および底生生物群集の代謝を組み込むことで構成されている。このモデルによる解析の結果、リーフ内の有機態動態がサンゴ粘液の生成と流動による移流効果に大きく支配されていること等が明らかになった。

### ④ サンゴ礁生態系短期応答モデル開発

上記のサンゴ内部モデル（ポリプモデル）をコアモデルとして、それをサンゴ礁炭酸系モデルおよび物質循環・低次生態系モデルに結合させることにより、複合ストレス下でのサンゴ礁生態系の短期応答を定量的に評価出来るモデル体系を開発した。これにより、海洋酸性化に対する応答や海水準の上昇に対する応答、さらにはそれらが複合的に起こった場合の応答など、将来予測に向けたいくつかシナリオ実験解析の結果を得ることに成功した。実験解析の結果はB01班が得た過去の変遷や、C01班が得た温暖化・酸性化・海水準上昇応答の結果によって検証、解析を進めている。

今後さらに、サンゴ幼生加入効果の導入等による長期応答モデルの開発や、トップダウン効果の取り込みなどを図っていく必要があるが、本課題の取り組みによって、サンゴ礁生態系についての、従来にないモデル体系の基礎を構築することが出来た。

**(3) 連携課題「社会システム評価：サンゴ礁－人間共存系に資する社会システム構築の可能性」**

**① 島嶼社会を構成する人々の多様な出自と立場 (B02)**

海洋に囲われた島嶼世界は一見すると孤立した閉じた空間のように思える。しかし八重山諸島では、近世の地割制度や通耕、寄百姓といった慣行・制度のなかで、諸島民の頻繁な移動があった。近代以降は日清戦争後の南進政策や台湾開発と連動して、沖縄本島の糸満系漁民、宮崎県から入った鰹節製造業者、鹿児島出身の寄留商人、サトウキビ栽培と製糖業を目論んだ四国の起業家と移民、昭和初期にパイナップル栽培のために来島した台湾の人々が入植した。戦後はさらに、沖縄本島や本土から4千人近い自由移民や計画移民が渡ってきた。近年は、流通や交通手段の発達によって観光産業や畜産業が拡大している。石垣島の社会システムは閉鎖系ではなく、長い歴史のなかで外の世界と常につながりながら複雑化し続けている。島を取り囲むサンゴ礁の劣化を考えると、多様な人びとの暮らしが並存するゆえに、そこにさまざまな利害が交差することを前提にしなければならない。

**② 拡大した農地と畜産業による環境ストレス (B02, C01, B01, C02)**

人々の移動に伴って生産技術や道具も常に変化してきた。キープイ(木鋤)からカニパイ(金鋤)への移行や、昭和初期には二頭曳クラブなどの洋式農具や台湾の新式農具が導入された。戦後はさらに動力農機具が急速に普及した。耕運機の所有農家数は、1975年の345軒から2000年には1442軒に増加している。特に1980年代以降は、30馬力超の大型耕運機が主流となった。生産性の向上は土地利用の変化を引き起こし、浅海域への赤土流出量が増大した(B01成果参照)。1990年代以降には灌漑・排水事業が進み、取水地から尾根筋を超えて別の谷筋に農業用水が供給されるようになった。これによって耕地整備が進み、さらに多くの原野が畑地や牧地へと転換された。畜産業においても同時期に肉用牛が1万頭から3万頭に激増し、浅海域に流出する窒素量は3.5倍に跳ね上がっている。かつて循環型農業のなかで転用されていた家畜排泄物が島内で消費しきれなくなったことがもう1つの要因と考えられる。

**③ 地域産業連関を踏まえた観光資源の波及的経済効果 (B02)**

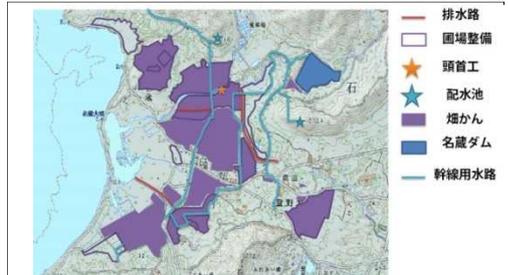
サンゴ礁が果たす生態系サービスへの善意の支払意思を問い、地域産業連関を通してサンゴ礁が島嶼経済にもたらす波及効果を提示することによって、多くの島嶼民の日常的実践の感覚にサンゴ礁の価値をアピールすることが可能となる。各種統計資料解析によるスカイライン・チャートによれば、自給率が高くかつ島嶼内生産額構成比が大きい産業部門は「運輸」「対個人サービス」、次いで「商業」である。これらサービス産業部門は、他部門との連関度合いを示す影響力係数・感応度係数も高い。地方行政体の各種資料を精査し、観光産業の需要ベクトルを細分して解析したところ、付加価値誘発額の総額270億円のうち90%弱は八重山圏域内にとどまると推計され、他部門への大きな波及効果が期待できた。また、地域産業連関表でサンゴ種苗移植工事の一事例を検討したところ、域外に流出した付加価値額は12%にとどまった。サンゴ移植活動が島内生産総額に占める割合は現状では極めて小さいが、圏域内にとどまる付加価値誘発額の割合は高く、将来的な経済効果が期待できる。

**④ サンゴ礁地形形成と人間居住の景観史 (B02, B01, C01)**

石垣島とマジュロ環礁において、後氷期の海面上昇・温暖化に伴うサンゴ礁地形形成に伴う、人間居住・人間活動の歴史を復元し、地形の形成によって居住可能な環境が産まれると速やかに人間居住がはじまったこと、原初的な景観においても人間活動はサンゴ礁に無視できない負荷を与えていたことが明らかになり、人とサンゴ礁の関わりと再生のベースラインを提示することができた。

**⑤ 景観史のアウトリーチ活動による社会的ネットワークの形成可能性 (B02, 総括班)**

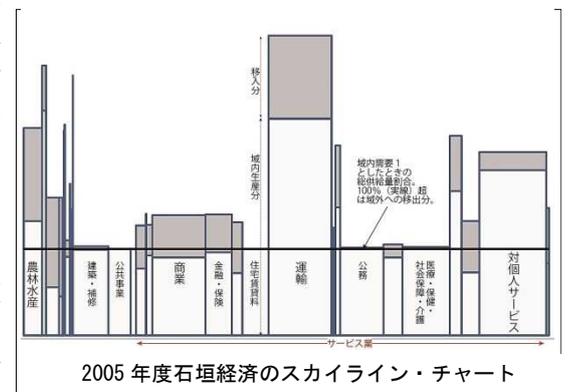
異なる産業部門の就業者を結びつけるだけでなく、就業年齢帯の外にいる高齢者や若年者を含め多様な世代間の社会的ネットワーク構築を検討するために、先史から現在にいたる景観史研究の成果(B02班)を素材としたアウトリーチ活動を石垣島で継続的に実施した。毎回30-40名におよぶ多様な職業、多様な世代の来場者をえた。第3回目には研究者の成果講演を切掛けにして、大判で打ち出した航空写真上に来場者の方々の「記憶」を位置づける社会実験を試みた。景観史と個人史を重ねることによって新たな出会いと対話の創出が可能であることを確認できた。



1985-2000年土地改良事業(石垣島名蔵地区)



石垣島畜産業による環境負荷(現在)



2005年度石垣経済のスカイライン・チャート

#### 4. 研究領域の研究推進時の問題点と当時の対応状況（1 ページ程度）

研究推進時に問題が生じた場合には、その問題点とそれを解決するために講じた対応策等について具体的に記述してください。また、組織変更を行った場合は、変更による効果についても記述してください。

##### （1）海外サイトへの展開

本領域では、共同調査のサイトとして、沖縄本島瀬底島と八重山諸島石垣島を選定して、複数の班の合同実験、共同調査を実施している。琉球列島のサンゴ礁は、海岸に接した裾礁型のサンゴ礁が、海岸部に集中して増加する人口によるストレスにさらされているという点で、アジア・太平洋型サンゴ礁の典型といえる。本領域の成果は広く、東南アジアや太平洋域のサンゴ礁の再生に適用することを目指している。そのためには、国内のサイトとともに、アジア太平洋地域に国外のサイトも設け、同地域の研究者と共同で調査を行うことが望ましい。しかしながら、研究費の枠は国内サイトでの調査で精一杯であり、さらに海外の研究者に旅費や研究費を支出することが困難であった。

本領域の計画研究代表者は、これまでも他の研究費の枠で海外のサンゴ礁の調査も進めてきた。そうした成果を、本領域の中で相互に比較することによって、この問題をクリアしている。さらに、2010年6月にはタイのプーケットで開催されたアジア太平洋サンゴ礁シンポジウムに、2012年7月にはオーストラリアのケアンズで開催された第12回国際サンゴ礁シンポジウムにおいて、サンゴ礁学のセッションを主催して、海外の研究者との議論の場を設けた。今後も引き続き、アジア太平洋サンゴ礁学会をプラットフォームとして、アジア太平洋地域のサンゴ礁の保全と再生に本領域の学術的成果を活かす道を求めていきたい。さらに、国際サンゴ礁学会（ISRS）において本学術的成果を定着させていくためにも、今後国際的な枠組みを推進する。

##### （2）異分野連携・共同による連携課題の推進

新学術の主要な課題は、異分野（社会科学を含む）融合・連携による新たな学術的価値や方向を生み出すことにある。本課題でも先に記述した3つの連携課題を設定し、研究を進めた。当初、異分野の研究者の計画会議等では、専門性の違いが浮き彫りにされ、なかなかこの3つの課題をどう分担・共同して進めるかがまとまらなかった。総括班の会議や全体会議を幾度開催し、異分野間の違和感を克服してきた。各班で共通のフィールドをプラットフォームとして調査を進める中で、最初は専門用語も価値観も異なる様々な分野の研究者が、共通の用語と価値観で結果を議論しあう中で、異分野の壁が徐々に取り払われ、さらに班を越えた多数の共著論文が産まれた。「9. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況」にあげた論文の5分の1ほどが異なる班（文と理の共著も含め）の共著者によるものであることは、本領域の分野が生物、化学、地学、人文、工学ときわめて広いことを考えると、驚くべきことである。また若手の中にも、地学から生物、生物から化学、地学・化学から工学へ領域内で異動し、職を得た者もいる。キーワード・目標を共有する作業が新学術では極めて重要である。この点は、今後の新たな共同研究等を進める大きな財産となった。

##### （3）アウトリーチの推進

現地調査、現地への成果の適用を進める上で、積極的にアウトリーチ活動を地元において行った。主要なフィールドである石垣島では、調査について地元との協議・覚書作成を交わし、成果を繰り返し地元で説明する機会を設けるだけでなく、地元の方々に調査に参加してもらった。研究者は、研究対象の生物多様性や文化財としての価値が普遍的なものであり、そこに住む人々にも共有されうると安易に想定しがちである。しかし、破壊的利用や忌避すべき対象、あるいは無関心といったネガティブな関心も含め、そこに生きる多様な人々とサンゴ（礁）との歴史的絡み合いを踏まえて初めてこれからの共存のあり方が創出できることを学んだ。

##### （4）サンゴ礁学サマースクールの継続

サンゴ礁学の学際的研究成果を、学部・大学院学生への教育に還元するため、2009年から毎年9月に1週間、サンゴ礁学サマースクールを、4回開講した。サンゴ礁の持つ多面的な要因とその相互作用、人とのつながりと、保全・再生のための取り組みを、地球科学、生物・生態学、海洋化学、海岸工学、環境科学、人文科学など様々な分野の講師が、サンゴ礁のフィールドにおいて学部・大学院学生に、講義・観察・実習を通じて教授し、議論した。これによって、様々な分野でサンゴ礁や生態系と人との共生・共存のために活躍できる人材を育成してきた。教員、学生とも現地（琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底研究施設ならびに石垣島白保）に泊まり込んで、講義と実習を通じてサンゴ礁の持つ様々な側面を、本領域に参画する多分野の研究者が教授するもので、3年間で約12大学（21学部）から74名の学生が受講し、受講者から大変高い評価を受けている。新学術領域「サンゴ礁学」終了後は、教育部分を継続する受け皿がない。充実したカリキュラムになったサマースクールを、東京大学海洋アライアンスの大学院・学部科目「海洋科学野外実習II」として、琉球大学と共催して継続する枠組みを作り、本年9月からは新たなカリキュラムとして発展・継続する。

## 5. 研究計画に参画した若手研究者の成長の状況（1ページ程度）

研究領域内での若手研究者育成の取組及び参画した若手研究者の研究終了後の動向等を記述してください。

本研究領域の研究成果（論文）の多くは、若手研究者が筆頭としてまとめており、各分野において本領域に参加した若手研究者は卓抜した成果をあげた。

さらに個別の研究だけでなく本研究領域においては、領域会合、シンポジウム、地元への説明会、サマースクールなど様々な機会を利用して、若手の発表と交流の場を設けてきた。さらに、本研究領域ではストレス応答などいくつかの連携課題を設定し、若手に積極的にアイデア出しや実行に関わってもらい連携課題を推進した。こうした交流が元となって、本研究領域内の若手が中心となり、2012年にサンゴ礁学会若手の会が立ち上がった。現地調査や室内実験など調査研究時には複数の計画研究が調整して共同研究を行い、共同で成果のとりまとめを行ってきた。これらにより、自らの専門を深めるだけでなく、学際的な広い視野を持つ若手研究者が育成できたと考えられる。

本研究領域でポストク等の契約職員として雇用した若手研究者は15名である。2013年4月現在、うち2名がパーマネント職（准教授と助教）、2名がテニュアトラック職（特任助教）に就いており、サンゴ礁・沿岸域保全や環境リーダー育成に関わっている。他の11名のうち、8名はポストク等の研究職に就きそれぞれの専門分野での研究を継続し、2名は研究をコーディネートあるいは研究成果を普及啓発する職に就いている。また、研究分担者として参画した若手のうち3名は参画時にはポストクであったが、うち2名がパーマネント職を得、1名がポストクとして研究を継続している。全体としては、本研究領域において契約職員であった若手18名のうち、現在6名がパーマネント或いはテニュアトラック職を得ており、本研究領域での成果がさらに発展することが期待される。また、11名がポストク等契約職員のうち2名が研究コーディネート職に就いており、このことは、研究と社会をつなぐ役割を持つ職が期待されている現在、本研究領域がそれに足る人材を育成できたということの意味しており、特筆すべき成果であると考えられる。

## 6. 研究経費の使用状況（設備の有効活用、研究費の効果的使用を含む）（1 ページ程度）

領域研究を行う上で設備等（研究領域内で共有する設備・装置の購入・開発・運用・実験資料・資材の提供など）の活用状況や研究費の効果的使用について総括班研究課題の活動状況と併せて記述してください。

本領域では、琉球大学熱帯生物圏研究センター瀬底研究施設を実験系の、石垣島をフィールド系の拠点とすることによって、複数の班が共同で実験・調査を行って、設備と研究費の効果的活用をはかった。

実験系については、水温、栄養塩、二酸化炭素などのサンゴに対するストレス応答実験を、瀬底研究施設において A01, A02, C01 班が共同で行うことによって、実験システムや測定装置を共有するとともに、測定項目を分担して重複を避け、研究費を有効に活用している。また共通の実験環境で行うことによって、得られた結果を相互に比較し、検証することが可能になった。

フィールドについては、石垣島を拠点として、調査日程をあわせることによって複数の班の合同調査を実施している。石垣島白保においては、A02, B01, B02, C01, C02 班が、石垣島名蔵においては B01, B02, C01 班が共同で調査を実施して、前者においてはサンゴ礁における物質循環モデルとそのストレス応答について、後者においてはサンゴ礁と人の関係の歴史の変遷について明らかにすることができた。

各班における設備の活用状況は、以下の通りである。

### <A01 班>

・リアルタイム PCR システム（アプライドバイオシステム StepOnePlus）：サンゴ幼生や一次ポリプのストレス応答の解析に使用。

・ユニバーサルズーム顕微鏡システム（ニコン AZ-D145）：サンゴ幼生や一次ポリプの観察、緑色蛍光色素の分布や含有量を調べる研究に使用。

凍結マイクロトーム（ライカ CM1510S）：サンゴ組織内での緑色蛍光色素や褐虫藻の分布を調べる研究に使用した。

・マイクロ波分解装置（アクタック社 スピードウェーブ MWS-2）：サンゴ骨格や組織の微量元素組成分析の前処理に使用。

### <A02 班>

・素過程と環境ストレス（水温・光強度、流速、栄養塩濃度、CO<sub>2</sub> 濃度等）を制御し、サンゴおよびマイクロスケールの生物群集の光合成量（＝有機物生産量）、呼吸量、石灰化量、分解量等を測定するための装置を完成させた。この装置の開発・施策に本研究費は有効に活用できた。

・マイクロ・ナノセンサおよびマイクロサンプリングシステムの改良・開発のためにブレーメン大学との改良費用として有効に使用した。これにより世界で初めてサンゴ内（胃腔内）の化学・生物成分のデータを得ることができた。研究費は有効に使用された。さらに、連携課題推進のための、調査費用にも有効に活用できた。

### <B01 班>

・超音波ネブライザーにより、サンゴ年輪に含まれる、陸域からの土砂流入の指標であるバリウム／カルシウム比の測定が可能となった。化石サンゴ及び現生のサンゴ年輪の分析を行い、現生のサンゴ年輪からは過去 60 年間の土砂流出の記録を得、土地利用変遷との対応を検討した。化石サンゴに関しては、B02 班と共同で、考古学的発掘から得られた人間居住史と陸域の改変史や農耕史との関係を考察した。

### <B02 班>

・高精細測量機器（トータルステーション、GPS）：化石マイクロアトールの分布調査や、ボーリング調査ならびに発掘調査における試料採取地点の位置情報を得るために活用。

・試料観察用機器（回転式マイクロトーム、デジタルマイクロスコープ）：堆積物試料や考古学的遺物資料の顕微鏡観察に使用。

### <C01 班>

・多項目水質計：現在も硫黄島における酸性化海域において継続してデータを取得している。

・流水槽：流水条件でのサンゴ代謝測定に利用したのち、酸性化に伴う堆積物の溶解の研究を展開している。

### <C02 班>

・流動付加制御機構付き新型チャンバーシステムをデザイン・開発し、大型および小型チャンバーを製作した。これを用いて A02 班および C01 班と連携し、石垣島の白保サンゴ礁において現場実験を実施した。実験では主要なサンゴ類、海藻帯、大型藻類、砂地を対象に群集代謝の日周変化やそれに伴う栄養塩類の変化、及びチャンバー内のバイオマスとの関係に関する知見を得ることができた。

・現場で水中二酸化炭素分圧を連続計測する可搬型二酸化炭素測定装置を購入し、様々なサンゴ礁内の群集において二酸化炭素の動態を計測した。他には水質分析関係の装置（溶存酸素測定装置、クロロフィル分析装置）を購入し、サンゴ礁内の物質循環解明に関する試料分析に有効活用した。

## 7. 総括班評価者による評価（2ページ程度）

総括班評価者による評価体制や研究領域に対する評価コメントを記述してください。

### 西平守孝（沖縄美ら島財団・参与）

本研究領域は、サンゴ礁にかかわる様々な環境および生命現象の解明とサンゴ礁をとりまく諸問題の解決の方策を模索すべく、日本サンゴ礁学会会員を中心に現時点で可能な優れた研究者がそれぞれの専門領域を分担することによって、互いに意思疎通を図りつつ包括的に取り組んだものである。対象のサンゴ礁に関して、生物や生命現象、環境、人間とのかかわりとその歴史の変遷など多岐にわたり、遺伝子から人間活動との関わりも織り込んだ生態系に至る生命組織の全ての階層がそれぞれの手法によって研究された。それは、サンゴ礁およびそれを取り巻く諸問題の複雑さとそれらを解決するための道筋を示す研究組織としては、多面的にする必然性があったと思われる。短期間の研究であったにもかかわらず、いずれの分野においても研究者の真摯な取り組みによって、優れた研究業績が多く公表されており、研究目的として掲げられた課題解決に役立つ基礎的な成果が得られたことを高く評価したい。

あわせて、研究の進展に伴って、あるいは一部を担う形で、若手研究者に参画の道を開き、将来を担う多くの人材育成が行われたことは、サンゴ礁をめぐる諸問題の解決にこれからも続く取り組みにとって、特に有意義である。折々に学会活動の一環として多くの議論が行われ、あるいは野外研究の場となった現地においても、一般市民に研究の経過と成果の広報や学習支援が行われたことも評価したい。それは、研究成果の提示のみで問題解決に直結することを期待することは困難と思われるからである。

サンゴ礁が人間活動の直接的・間接的影響を受けて往時の状況が変化し、その価値を失いつつあると広く認識されるようになった。人間の生活とサンゴ礁との関わりは、特にサンゴ礁の上に暮らす人々に取っては、往時に比較して現代的問題の影響をより強く受けることは容易に理解できるが、歴史的にも、現実的にも、また将来においても、人間がサンゴ礁（広くは自然環境）の持つ総合的資源価値をどのように活用し続けられるかは、永遠に続く重要な課題である。この研究で得られた多くの成果を、そのような意味でサンゴ礁と人間との関わりのある方、問題の態様の解明、具体的な問題解決などの取り組みにどのように活かすか、基礎科学の段階から応用科学への橋渡し、さらに踏み込んで研究者村と一般市民社会との連携へ向けてどのように展開できるか、成果の活用が期待される

研究期間が過ぎた後にも、多くの研究成果の公表が続くと考えられるが、それらの中にこのような視点からまとめられたものが含まれることを望みたい。

### 小池勲夫（琉球大学・監事）

この新学術領域研究（研究領域提案型）の目的は、1）現在進行中のサンゴ礁の劣化・破壊を総合的に把握するために、遺伝子・細胞レベル、生理・個体レベル、生態系レベルでのサンゴ礁共生系の複合ストレスの解析を行い、それを基にして複合ストレスに対する応答モデルを構築すること、2）応答モデルに基づいてサンゴ礁の監視・診断を行う手法を開発し、適切なストレス制御と修復・再生に必要なガイドラインを示すこと、さらに3）人とサンゴ礁の新たな共生・共存系構築のための学術的基礎を創ることであるとされている。この目的を達成するため、「ストレス応答の素過程解明」（研究項目A）、「歴史的变化」（研究項目B）、「複合ストレス応答モデル」（研究項目C）の3つの研究項目を設けて、過去および現在のサンゴ礁を研究するが、本領域が特徴とする学際的な研究を推進するために、特に複合ストレス評価、生態系の応答評価、社会システム評価という3つの連携課題を設けて研究を進めたと報告書に記述されている。以下のコメントは上記の目的およびその実施方法に基づくものである。

1）多くの発展途上国のサンゴ礁が、地域的な開発や全球的な温暖化等によって劣化し、縮小していることは明らかであり、サンゴ礁生態系の解明とその保全・再生が社会的に優先度の高い研究分野であることは多くの認めるところである。本研究領域が日本サンゴ礁学会を背景にしてサンゴ礁に関する総合的な研究を展開し、この分野の底上げを図ると同時に若手人材の育成にも大きく寄与した点は高く評価出来る。

2）それぞれの研究項目、特にサンゴそのものに関しては分子生物学的、生理学的、生態学的アプローチで多彩な研究がなされており、またサンゴ礁を取り巻く環境の古環境学的な研究なども含めてそれぞれ興味深い結果を出している。また、これらの成果がモデルにインプットされて複合ストレスモデル評価に使われるなど、これまでの個別研究では得られない成果が挙げたことは高く評価出来る。なお、それぞれの成果は専門誌に出されておりそれで評価できるが、全体をまとめるようなサマリー論文はまだのようである。是非、Science, Nature レベルの雑誌に今回の成果のハイライトを出して欲しい。

3）研究目的の内、複合ストレスのモデル評価に関しては、実験データからのインプットを得てからの作業が多いため、まだ論文として完成したものは少ないが、サンゴの体内モデルをはじめとする種々のモデルが開発

され、その現場への適用性がチェックされたことが成果として示されている。また、これらのモデルを統合したものはサンゴ礁を取り巻くシステム全体を説明出来るモデルとして有効性の高いものである。なお、これらの評価モデルを基盤としてサンゴ礁の監視・診断を行う手法を開発するステップに関しては、個々の手法的な発想はあるものの、全体がまとまっていない感がある。とりまとめの1年間でこれをより明示的にまとめて頂きたい。

4) 石垣島を中心とした先史時代からの島の定住による歴史的な発展とサンゴ礁発達史との関係を見た研究は興味深いが、まだ、並列するデータを時空間的に接合した段階であり、今後のより統合的な解析を待ちたい。なお、時系列的には1万年前から100年前位までのサンゴ礁発達史と、その後の人間活動が顕著になった近代から現代までの環境影響、これらを基礎データとした将来予測、およびサンゴ礁の再生を実現するための具体的なガイドラインをより明確な形で示して欲しい。異分野連携や文理融合が本当にうまく実施出来たのかは、研究成果としてどれだけインパクトの有る論文を出版出来るかであるように思われるのでその成果物を期待したい。

#### **土屋 誠 (琉球大学・理学部・教授)**

本プロジェクトにおいては多様な分野の研究者の連携により、1) 褐虫藻のタイプと宿主サンゴの共生関係の遺伝子解析、2) サンゴの幼生に褐虫藻を人為的に感染させた場合の高温や強光ストレスに対する感受性、3) サンゴ礁における海草、大型藻類、植物プランクトン、シアノバクテリア、サンゴの骨の中の藻類と多様な生産者の重要性の解析、4) モニタリングデータの解析によるサンゴ礁の歴史の変遷の解明、5) 景観史の観点、あるいは陸域と浅海域のつながりの観点からのサンゴ礁と人間の共生関係の解析、6) 酸性化・温暖化・海面上昇などのストレスに対するサンゴ礁の応答解明、7) サンゴ礁に対する複合ストレスの包括的な評価・予測、など重要なテーマに関する研究が実施された。その結果、プロジェクトの目的である「サンゴ礁共生系の複合ストレスに対する応答モデルを構築するとともに、応答モデルに基づいてサンゴ礁の監視・診断を行う手法を開発し、適切なストレス制御と修復・再生に必要なガイドラインを示し、人とサンゴ礁の新たな共生・共存系構築のための学術的基礎を創る」ことに対して基礎的な科学的知見が十分に集積されたことは大いに評価できる。

一方、このプロジェクトのタイトルは「サンゴ礁生態系と人の共生・共存未来戦略」であり、学術的基礎を創るだけでなく、未来戦略を構築することを目指している。評価者としてはこのタイトルと膨大に蓄積された科学的知見とのギャップを埋めてほしいと強く願う。いくつかのモデルの提唱をしておられるが、それらがどのように未来戦略の構築に貢献するかの道程をまとめの年に示してほしい。

メンバーも述べておられるように、重要な課題は、異分野の融合・連携による新たな学術的価値や方向を生み出すことである。総括班の会議や全体会議、あるいはフィールドでの共同研究や共著論文の作成によって、異分野間の違和感を克服してこられたことが記されており、その努力を高く評価したい。

マーシャル群島のマジュロにおいて異分野の研究者の連携による土地の人為的利用、堆積物の動態に関する2000年スケールの景観史に関する研究が行われた。これは本プロジェクトの今後の学際的な発展を予感させるものであり、考察で述べておられるように人の移動に伴う家畜や植物の侵入、あるいは他の生物の侵入や絶滅などのテーマを加えた大きなプロジェクトに発展する可能性を秘めている。

また、その他にも目的達成のための目出しは行われていると理解する。ローカル・グローバルなストレスによって衰退しつつあるサンゴ礁生態系と人の共生・共存未来戦略の構築と、その実践は明らかに喫緊の課題である。

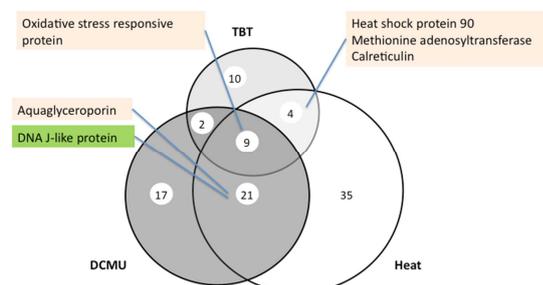
## 8. 主な研究成果（発明及び特許を含む）【研究項目毎または計画研究毎に整理する】

（3 ページ程度）

新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（発明及び特許を含む）について、図表などを用いて研究項目毎に計画研究・公募研究の順に整理し、具体的に記述してください。なお、領域内の共同研究等による研究成果についてはその旨を記述してください。

### A01 複合ストレスに対するサンゴ-褐虫藻共生系の応答

(1) ストレス特異的な遺伝子発現変化 ウスエダミドリイシの一次ポリプを、高温ストレス、有機スズ (TBT)、光合成阻害剤 (DCMU) に暴露し、発現変化する遺伝子を調べた結果、各ストレスに特異的に反応して発現が上昇する遺伝子が見つかった (図)。これらの遺伝子は、ストレス特異的に応答する可能性があり、将来遺伝子発現を調べることによりサンゴの受けているストレスを推測することができるようになる可能性が示唆された (Yuyama et al. 2012a)。



(2) 褐虫藻のタイプにより宿主サンゴの遺伝子発現が変化

ウスエダミドリイシ一次ポリプを高温処理した時のストレス関連遺伝子発現変化の方向が、クレード A とクレード D のどちらの褐虫藻と共生しているかにより異なることを明らかにした (Yuyama et al. 2012b)。褐虫藻タイプによる宿主遺伝子発現の違いが、サンゴ細胞内の酸化ストレス強度の違いによるものなのか、宿主と褐虫藻との相互作用の結果であるのか、今後の研究が待たれる。

(3) サンゴ幼生のストレス耐性

ミドリイシ属サンゴの幼生に人工的に褐虫藻を感染させると、高温や強光ストレス感受性が高まる。ストレス条件下では褐虫藻が活性酸素発生源となるためと考えられる (Yakovleva et al. 2009; Nesa et al. 2012)。一方褐虫藻を親から受け継ぐ垂直伝播型のハナヤサイサンゴの幼生は、多くの褐虫藻を含むにもかかわらず、高いストレス耐性を示すことが分かった。ハナヤサイサンゴ幼生の高ストレス耐性の秘密を解明することができれば、サンゴのストレス耐性を高めるヒントが得られると考えられる。ウスエダミドリイシとハナヤサイサンゴ 2 種の幼生と成群体とで呼吸の温度依存性を調べた結果、幼生は成群体に比べて  $Q_{10}$  (温度依存性を示す値) と呼吸速度のどちらも低く、幼生はエネルギー消費を抑えて高温ストレス耐性を高めている可能性が示唆された。

(4) サンゴ遺伝子型間における環境応答差

ミドリイシ属サンゴおよびハマサンゴの同種内遺伝子型間で、生理的な環境応答に著しい差がみられることが分かった。1990 年代から継続して行っている沖縄本島北部 (本部町海域) のサンゴ群集及び幼生定着数のモニタリングの結果、通常はミドリイシ属サンゴ幼生の分散距離は比較的短く、ローカルな環境変化にサンゴ群集が適応できる可能性が示唆された。

### A02 サンゴ礁生態系・物質循環共生系の素過程解明

(1) 素過程と環境ストレス (水温・光強度、流速、栄養塩濃度、 $CO_2$  濃度等) を制御し、サンゴおよびマイクロスケールの生物群集の光合成量 (=有機物生産量)、呼吸量、石灰化量、分解量等を測定するための装置を完成させた。

(2) 基礎生産量の再評価を行い、従来法による評価は過少評価していることを明確にした。サンゴ礁生態系の基礎生産者はサンゴに共生する褐虫藻だけでなく、海草、大型藻類、植物プランクトン、シアノバクテリア、サンゴの骨の中の藻類と多様な生産者がいる。とくに海水中の栄養塩は、サンゴやサンゴの瓦礫あるいは砂地に生息している付着藻類の増殖に利用されていることを確かめた。サンゴ礁の栄養塩循環の新たなモデル (不均一循環モデル) の概念を提案できた。

(3) サンゴの白化に関しては水温の上昇 (主として  $30^{\circ}C$  以上) に伴い、サンゴ内に共生する褐虫藻の光合成活性が 50% 程度低下すること、また細胞そのものから色素を失うこと、サンゴの外に逃げ出す褐虫藻の量はサンゴ内の全体量の 1% にも満たないこと、サンゴの白化はサンゴ内での色素を失うことを明らかにした。サンゴと褐虫藻およびバクテリアの複合共生システムと環境ストレスとの関係からサンゴの白化についてのメカニズム、水温上昇と褐虫藻とバクテリアの増殖に関する関係において、特定のバクテリアがどのように関与するかを明確にした。

(4) サンゴの胃腔中のバクテリアの細胞数は  $10^7/L$  のオーダー、サンゴの外側の海水中のバクテリア数  $10^5/L$  に比較してかなり高い。ビタミン  $B_{12}$  の濃度もサンゴ内では  $100-700pM$  に対して、海水中では  $2-5pM$ 、サンゴ内で高いということを示した。

(5) 世界で初めてのサンゴ内部の測定からサンゴの周りの海水に対してサンゴは半閉鎖系な振る舞いをしてることを明らかにした。環境ストレス下におけるサンゴの生命維持とビタミン・アミノ酸との関係の重要性を明らかにした。サンゴ内部の栄養塩循環が明確になった。

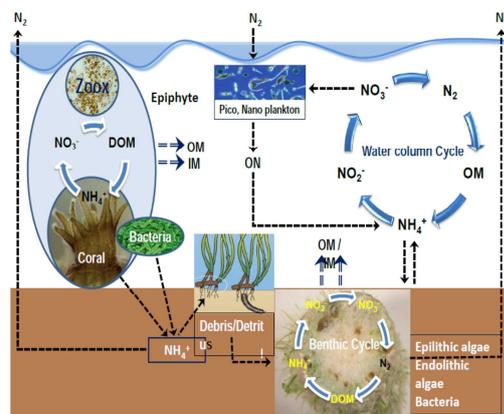
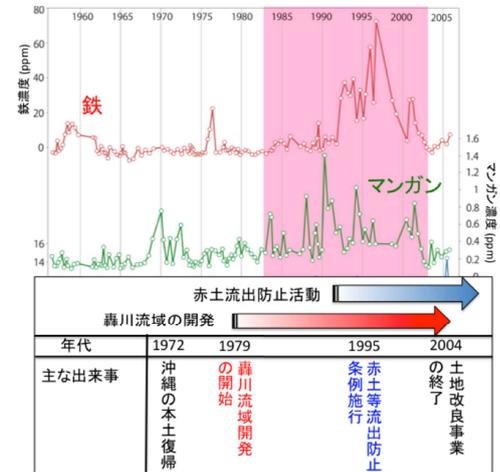
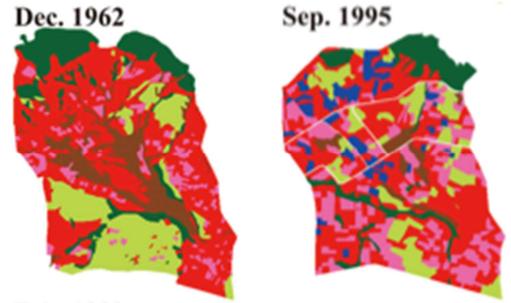


図2 サンゴ礁における栄養塩循環 (サブ環境内とサンゴ礁全体のリンク)

## B01 ストレスとサンゴ礁の歴史的变化

空中写真の判読と衛星画像解析により、石垣島では、1970-80年代から急激な土地区画整理によりサトウキビ畑が拡大したことが明らかとなった(長谷川, 2011; Ishihara et al. in press 図1). サトウキビ畑は冬のサトウキビの刈り取り後、植え付けの時期に裸地となるため、その時期に降雨があると土砂流出の発生源となるため、1970年代以降土砂流出が大きくなったことが示された. 海域の衛星画像の解析からは、1990年代以降、石垣島白保サンゴ礁においてサンゴの分布域が1980年代と比較して1/4程度になったことが明らかとなった(図2). また、広域におけるサンゴモニタリングデータからは、土砂流入のあるサンゴ礁においては、白化からの回復が観察されず、現在のサンゴ礁の衰退が地球規模の水温上昇と地域規模の陸域からの負荷によりもたらされている可能性が示された(Hongo and Yamano, 2013).

サンゴ年輪に関しては、北海道大学にサンゴコアセンターを設立し([http://ccc.sci.hokudai.ac.jp/Coral\\_Core\\_Center/Welcome.html](http://ccc.sci.hokudai.ac.jp/Coral_Core_Center/Welcome.html)), コアの採取から保管, ソフトX線撮影, 化学分析までを一貫して行えるシステムを構築した. 轟川の河口から採取されたハマサンゴに含まれる重金属の分析からは、1980年代から骨格に含まれる鉄やマンガンの量が増大していることが明らかとなった(図3). 鉄やマンガンは陸域からの流入の指標となり、この結果は、空中写真の判読により明らかとなったサトウキビの拡大時期と一致する. その後1990年代後半から現在にかけては鉄とマンガン量は低下しており、これは1995年に沖縄県で施行された赤土等流出防止条例による赤土流出削減の効果である可能性がある. サンゴ骨格の密度は現在にかけて低下した. 石垣島名蔵で採取した化石サンゴも、土砂流入の発生にともなって骨格密度が低下しており、陸域からの負荷の増大がサンゴ被度の減少のみならず、生存しているサンゴにもストレスを与えていると考えられる. また、B01班の公募研究においては、地球規模ストレスである海洋酸性化の指標となるボロンの同位体比の測定技術を開発した(Shinzato et al. in press).



## B02 サンゴ礁-人間共生系の景観史

先史から現在への通史的視点で陸域と浅海域の関係を軸に、八重山諸島石垣島の景観史調査を実施した(山口印刷中; 小林ほか 印刷中).

(1) 浅海域の環境変遷: 石垣島南西部の名蔵にはマングローブ湿地が広がり、その海側には800メートルほど沖合まで干潟や沈水藻場が続く. 湿地や干潟には、干潮時に離水するマイクロアトールが数多く分布する. 高精細GPSによる測量によって、離水マイクロアトールの高度が、マングローブ湿地奥から干潟・沈水藻場に向かって次第に低くなることを確認した. さらに各地点のサンプル試料を年代測定したところ、湿地奥の潟湖で5000年BP、湿地出口で3500年BP、干潟から沈水藻場で2100年BPという結果を得た. 沖合に向かって高度が減じるほど離水時期が新しいことになる. 完新世中期以降の相対的な海面変動によって、ハマサンゴやキクメイシが生息する浅海域の環境が湿地や干潟へ変化したことが明らかとなった. また現在の名蔵湾には、水深2m前後に枯死したハマサンゴの群体が点在する. サンプル試料の年代測定は1200-800年BPを示しており、完新世の海面変動とは異なる枯死の要因を考えなければならない.

(2) 洪水堆積物: 名蔵地区の沖積低地(休耕田)で実施したジオアーケオロジー発掘調査によって、1000年BP前後の地層から洪水堆積物で埋没したサガリバナとサキシマスオウの樹林を確認できた. 水深2m前後のサンゴ群体の枯死に陸域からの土砂流出が影響した可能性が浮かび上がった.

(3) 沖積地の水田開発: 洪水堆積物の直上には黒褐色粘土層が堆積し、その層中から炭化米と炭化麦を複数検出できた. 年代測定結果は、385年BP(炭化米)、340年BP(炭化米)、320年BP(炭化大麦)を示した. 較正年代でAD1400-1600年には台地上の畑作と谷戸での水田耕作が行われていたことになる. 内陸からの土壌流出はハマサンゴが生息する浅海環境の悪化を引き起こした一方で、水田適地となる沖積低地の形成につながったと考えられる.



(4) アクティブ・アウトリーチ: 島嶼景観をホーリスティックに幅広く扱い、その変化の動態のなかに多様な島民の暮らしを位置づけられれば、将来の景観プランニングに向けた対話創出の可能性が見えてくる. アクティブ・アウトリーチと名付けたこの発想にもとづいて、研究成果公開のための講演会を石垣島で毎年開催し(4回), エコツアー業者を対象とした巡検ツアーも実施した(1回). さらに最終年度には「暮らしの中のサンゴ礁-サンゴと人がひらく南島の人類誌」と題して、サンゴ礁学を構成する考古学・文化人類学・形質人類学・地球科学・地理学・環境学の研究者を招聘し、一般公開シンポジウムを沖縄県立博物館美術館にて開催した. 100名近い地元の方々に来場いただき、活発な対話を交わすことができた.

## C01 地球温暖化に対するサンゴ礁の応答

(1) 温暖化応答 石垣島白保サンゴ礁では、1998 年の大規模白化以降、2003 年に小規模 2007 年に中規模な白化が起り、サンゴ群集が衰退している。高水温に対する応答はサンゴの種によって異なる。こうした異なる応答の結果、サンゴの多様性が減少している。

(2) 酸性化応答 酸性化で最初に影響を受けるのは極域で、サンゴ礁の飽和度は 1 以下には下がらないから溶解までは至らないだろうとされていた。しかしながら、サンゴ礁に多く分布する有孔虫や石灰藻はアラレ石や方解石より溶解しやすい高マグネシウム方解石で、その溶解の閾値や砂地の溶解メカニズムは不明であった。本研究では、室内実験によって高マグネシウム方解石の溶解閾値が、アラレ石飽和で 3.2-3.3 であることを明らかにして、実際のフィールドで夜間に呼吸によってこれより飽和度が低下して、砂地の溶解が起こっていることを明らかにした。溶解は砂地の表面で起こっているのではなく、堆積物間隙水中で呼吸によって飽和度が低下し、それによって溶解が起こっている (Yamamoto et al. 2013)。

硫黄鳥島の CO<sub>2</sub> が湧き出している海域において、造礁サンゴ群集が骨格をもたないソフトコーラル群集にシフトしていることを発見した (図)。CO<sub>2</sub> 濃度が 800 $\mu$ atm ではソフトコーラルが優占するが、1500 $\mu$ atm ではソフトコーラルも造礁サンゴも見られない。飼育実験の結果、1000 $\mu$ atm ではソフトコーラルの光合成が促進されるが、2000 $\mu$ atm では夜間の溶解が増加することがわかり、硫黄鳥島の発見と整合的である (Inoue et al. 2013)。また高 CO<sub>2</sub> 実験では、十分な光量が必要であることを指摘した (Takahashi and Kurihara, 2012)。



(3) 海面上昇応答 サンゴ礁の海面上昇に対する応答には、礁嶺の形成が重要である。過去の海面上昇と礁嶺の形成過程から、礁嶺の形成にはミドリイシ類など鍵となるサンゴ種が重要な役割を果たしていることが明らかになった (Hongo 2011)。完新世の最温暖期から、寒冷期を経て、鍵となるミドリイシ類の構成比が高くなった。一方、コユビミドリイシなど鍵種は、巨大台風によって生育が困難になることも明らかになった。将来の温暖化・海面上昇・台風の巨大化に対して、現在の群集は脆弱である。将来の海面上昇に対してサンゴ礁地形を維持するためには、礁嶺における鍵種の維持・再生が重要である。

## C02 複合ストレスの包括的評価・予測とサンゴ礁生態系応答モデル解析

石垣島東海岸リーフ海域を対象とした長期連続観測ならびに短期集中多点連続観測を実施することにより、同リーフ海域への陸源負荷 (河川・地下水経路での流量・赤土・栄養塩フラックス等)、高水温・pH 等から見た外洋からの負荷のリーフ内波及過程、リーフ内物質循環過程 (有機物・栄養塩動態、炭酸系動態等) などの定量的評価を行った。リーフ内物質循環過程に関わる具体的な分析項目として、群集代謝の時空間分布、懸濁態有機物と沈降粒子の炭素・窒素安定同位体比、溶存無機炭素の安定同位体比、大気降下物由来の栄養塩と窒素安定同位体比、サンゴ生体のアミノ酸分子種別窒素安定同位体比、溶存有機物動態等について詳細な分析を行い、それらの実態を明らかにした。

C01 班や A02 班と連携して新型チャンバーシステムの開発および運用を進め、サンゴ群集や海草藻場、海藻帯といったサンゴ礁生態系基本構成要素に関し観測を実施し、代謝特性等の定量的評価を可能にした。流域からの環境負荷モデルとして、表面・地下水流出モデルならびに赤土流出モデルを開発するとともに、関連する現地調査を行うことによりモデル検証を行った。

サンゴ礁 3 次元海水流動モデルをベースとして、複合ストレスのうち赤土および高海水温について、サンゴ礁内でのそれらの波及過程を高精度で評価する数値モデル体系を構築した。同モデルを用いた数値解析により、これらのストレス要因がサンゴ礁内で高い時空間変動性を示すことを明らかにした。

さらに、サンゴ礁内での複合ストレスの時空間変動評価ならびに生態系応答評価の両面に関わるモジュールとして、サンゴ礁炭酸系動態モデル動態モデルおよびサンゴ礁物質循環・低次生態系モデルを構築した。また、サンゴ礁生態系短期応答モデルのキーとなる、複合ストレス下でのサンゴ群体内部の動的応答過程を表す、従来にない「サンゴ内部モデル (ポリプモデル)」の開発に成功し、これをサンゴ礁炭酸系モデルおよび物質循環・低次生態系モデルに結合させることにより、複合ストレス下でのサンゴ礁生態系の短期応答を定量的に評価出来るモデル体系を開発した。これにより、海洋酸性化に対する応答や海水準の上昇に対する応答、さらにはそれらが複合的に起こった場合の応答など、将来予測に向けたいくつかシナリオ実験解析の結果を得ることに成功した。

陸源負荷の生成・制御過程のモデル化に必要な地域コミュニティの社会経済的な調査として、畜産に焦点を当てた調査を石垣島を中心に行い、同島での窒素ベースのマテリアルフロー構造を明らかにした。さらに同様の社会経済的な調査を、宮古島、与論島においても実施し、環境負荷発生に関わる畜産やサトウキビ等の農業セクターの構造特性の相対的な特徴を明らかにした。

## 9. 研究成果の取りまとめ及び公表の状況（主な論文等一覧、ホームページ、公開発表等）（5ページ程度）

新学術領域研究（公募研究含む）の研究課題を元に発表した研究成果（主な論文、書籍、ホームページ、主催シンポジウム等の状況）について具体的に記述してください。論文の場合、計画研究・公募研究毎に順に記載し、研究代表者には二重下線、研究分担者には一重下線、連携研究者には点線の下線を付し、corresponding author には左に\*印を付してください。また、一般向けのアウトリーチ活動を行った場合はその内容についても記述してください。

（1）研究論文（査読つき）公募研究の成果は連携とした各班の中に入れて。また、班間の連携を示すため、上記指定に加えて、他班の代表者・分担者には波下線を付した。

### A01 複合ストレスに対するサンゴ-褐虫藻共生系の応答

\*Isomura N, Iwao K, Fukami H (2013) Possible natural hybridization of two morphologically distinct species of *Acropora* (Cnidaria, Scleractinia) in the Pacific: fertilization and larval survival rates. PLoS ONE 8(2) e56701.

\*Yuyama I, Ito Y, Watanabe T, Hidaka M, Suzuki Y, Nishida M (2012) Differential gene expression in juvenile polyps of the coral *Acropora tenuis* exposed to thermal and chemical stresses. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 430-431: 17-24.

\*Yuyama I, Harii S, Hidaka M (2012) Algal symbiont type affects gene expression in juveniles of the coral *Acropora tenuis* exposed to thermal stress. Mar. Environ. Res. 76: 41-47.

Nesa B, Baird AH, Harii S, Yakovleva I, \*Hidaka M (2012) Algal symbionts increase DNA damage in coral planulae exposed to sunlight. Zool. Stud. 51: 12-17.

\*Iguchi A, Ozaki S, Nakamura T, Inoue M, Tanaka Y, Suzuki A, Kawahata H, Sakai K (2012) The effect of acidified seawater on coral calcification and symbiotic algae of a massive coral *Porites australiensis*. Mar. Environ. Res. 73: 32-36.

\*Yamashiro H, Mikame Y, Suzuki H (2012) Localized outbreak of attached diatoms on the coral *Montipora* due to low-temperature stress. Sci. Rep. 2, 552.

\*Inoue M, Shinmen K, Kawahata H., Nakamura T, Tanaka Y, Kato A, Shinzato C, Iguchi A, Kan H, Suzuki A, Sakai K. (2012) Estimate of calcification responses to thermal and freshening stresses based on culture experiments with symbiotic and aposymbiotic primary polyps of a coral, *Acropora digitifera*. Global and Planetary Change 92-93: 1-7

\*van Woesik R, Irikawa A, Anzai R, Nakamura T. (2012) Effects of coral-colony morphologies on mass transfer and susceptibility to thermal stress. Coral Reefs 31: 633-639

\*Nakamura M, Ohki S, Suzuki A, Sakai K (2011) Coral larvae under ocean acidification: survival, metabolism, and metamorphosis. PLoS ONE 6 e14521.

\*van Woesik R, Sakai K, Ganase A, Loya Y (2011) Revisiting the winners and the losers a decade after coral bleaching. Mar. Ecol. Prog. Ser. 434: 67-76.

Shinzato C, Shoguchi E, Kawashima T, Hamada M, Hisata K, Tanaka M, Fujie M, Fujiwara M, Koyanagi R, Ikuta T, Fujiyama A, Miller DJ, \*Satoh N (2011) Using the *Acropora digitifera* genome to understand coral responses to environmental change. Nature doi:10.1038/nature10249.

\*Nakamura M, Sakai K (2010) Spatiotemporal variability in recruitment around Iriomote Island, Ryukyu Archipelago, Japan: implications for dispersal of spawning corals. Mar. Biol. 157:801-810

\*Yakovleva IM, Baird AH, Yamamoto HH, Bhagooli R, Nonaka M, Hidaka M (2009) Algal symbionts increase oxidative damage and death in coral larvae at high temperatures. Mar. Ecol. Prog. Ser. 378: 105-112

\*Harii S, Yasuda N, Lodoriguez-Lanetty, Irie T, Hidaka M. (2009) Onset of symbiosis and distribution patterns of symbiotic dinoflagellates in the larvae of scleractinian corals. Mar. Biol. 156: 1203-1212

Nesa B, \*Hidaka M. (2009) High zooxanthella density shortens the survival time of coral cell aggregates under thermal stress. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 368: 81-87

\*Itoh A (2009) Multi-element profiling analyses of seawater in coral reef area and the biogeochemical processes of trace metals in bivalve with symbiotic zooxanthellae. Geochem. Cosmochim. Acta. 73: A576-A576.

### A02 サンゴ礁生態系・物質循環共生系の素過程解明

\*Kodani S, Sato K, Higuchi T, Casareto BE, Suzuki Y (2013) Montiporic acid D, New polyacetylene carboxylic acid from scleractinian coral *Montipora digitata*. Natural Product Res. DOI:10.1080/14786419.2013.768992.

\*Agostini S, Fujimura H, Fujita K, Suzuki Y, Nakano Y (2013) Respiratory electrontransport system activity in symbiotic corals and its link to calcification. Aquatic Biol. 18: 125-139.

\*Higuchi T, Agostini S, Casareto BE, Yoshinaga K, Suzuki T, Nakanao Y, Fujimura H, Suzuki Y (2013) Bacteria enhancement of bleaching and physiological impacts on the coral *Montipora digitata*. J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 440: 54-60.

\*Weil E, Irikawa A, Casareto BE, Suzuki Y (2012) Extended geographic distribution of several Indo-Pacific coral reef diseases. Diseases Aquatic Organisms 98:163-170.

\*Charpy L, Casareto BE, Langlade MJ and Suzuki Y (2012) Cyanobacteria in coral reef ecosystems. J. Mar. Biol.: DOI:10.1155/2012/259571.

\*Casareto BE, Niraula MP, Suzuki Y (2012) Dynamics of organic carbon under different inorganic nitrogen levels and phytoplankton composition, Estuarine. Coastal Shell Sci. 63: 1-11.

\*Agostini S, Suzuki Y, Higuchi T, Casareto B, Yoshinaga K, Nakano Y (2012) Biological and Chemical Characteristics of the Coral Gastric Cavity. Coral Reefs 31: 147-156.

- \*Islam MN, Casareto BE, Higuchi T, Nirayla MP, Suzuki Y (2012) Contribution of coral rubble associated microbial community to the dissolution of calcium carbonate under high pCO<sub>2</sub>. *Galaxea, J. Coral Reef Studies* 14: 1-13.
- \*Yuyama I, Ito Y, Watanabe T, Hidaka M, Suzuki Y, Nishida M (2012) Differential gene expression in juvenile polyps of the coral *Acropora tenuis* exposed to thermal and chemical stresses. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 430-431: 17-24.
- \*Farook M, Fairoz M, Suzuki Y, Casareto BE (2011) Behavior of dissolved organic matter in coral reef waters in relation with biological processes. *Modern Applied Sci.* 5: 3-11.
- \*Irikawa A, Casareto BE, Suzuki Y, Agostini S, Hidaka M, Woesik R (2011) Growth anomalies on *Acropora cytherea* corals. *Mar. Poll. Bull.* 62: 1702-1707.
- \*Rahman MA, Fujimura H, Shinjo R, Oomori T (2011) Extracellular matrix protein in calcified endoskeleton: a potential additive for crystal growth and design. *J. Crystal Growth* 324: 177-183.
- \*Armid A, Asami R, Fahmiati T, Sheikh MA, Fujimura H, Higuchi T, Taira E, Shinjo R, Oomori T (2011) Seawater temperature proxies based on DSr, DMg, and DU from culture experiments using the branching coral *Porites cylindrical*. *Geochim. Cosmochim. Acta* 75: 4273-4285.
- \*Cuet P, Atkinson MJ, Blanchot J, Casareto BE, Cordier E, Falter J, Frouin P, Fujimura H, Pierret C, Suzuki Y, Tourrand C (2011) CNP budgets of a coral-dominated fringing reef at La Reunion, France: coupling of oceanic phosphate and groundwater nitrate. *Coral Reefs* 30(suppl. 1): 45-55.
- \*Suzuki Y, Casareto BE (2011) The Role of Dissolved Organic Nitrogen (DON) in Coral Biology and Reef Ecology, Z. Dubinsky and N. Stambler (eds.), *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition*, 207-214.
- \*Higuchi T, Fujimura H, Hitomi Y, Arakaki T, Oomori T, Suzuki Y (2010) Photochemical formation of hydroxyl radicals in tissue extracts of the coral *Galaxea fascicularis*. *Photochem. Photobiol.* 86: 1421-1426.
- \*Shiroma K, Suzuki Y, Casareto B, Ishikawa Y (2010) Effects of heat stress and nitrate enrichment on nitrogen allocation in zooxanthellate corals. *Eco-Engineering* 22: 101-104.
- \*Charpy L, Palinska KA, Casareto B, Langlade MJ, Suzuki Y, Abrd RMM, Golubic S (2010) Dinitrogen-fixing cyanobacteria in microbial mats of two shallow coral reef ecosystems. *Microbial Ecol.* 59: 174-186.
- \*Agostini S, Suzuki Y, Casareto BE, Nakano Y, Hidaka M, Badrun N (2009) Coral symbiotic complex: Hypothesis through vitamin B12 for a new evaluation. *Galaxea, JCRS*, 11:1-11.
- \*Casareto BE, Nilaula MP, Fujimura H, Suzuki Y (2009) Effects of carbon dioxide on the coccolithophorid *Pleurochrysis carterae* in incubation experiments. *Aquat. Biol.* 7: 59-70.
- \*Higuchi T, Fujimura H, Arakaki T, Oomori T (2009) Synergistic effects of hydrogen peroxide and elevated seawater temperature on the metabolic activity of the coral *Galaxea fascicularis*. *Mar. Biol.* 156: 589-596.
- \*Higuchi T, Fujimura H, Ikota H, Arakaki T, Oomori T (2009) The effects of hydrogen peroxide on metabolism in the coral *Goniastrea aspera*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 370: 48-55.

## B01 ストレスとサンゴ礁の歴史的変化

- Ishihara M, Hasegawa H, Hayashi S, \*Yamano H (in press) Land cover classification using multi-temporal satellite images in a subtropical area. In: Nakano S, Yahara T, Nakashizuka T (eds.) *The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: Integrative observations and assessments of Asian biodiversity*. Springer.
- \*小林竜太, 山口徹, 山野博哉 (印刷中) リモートセンシングによる石垣島サンゴ礁形成史の地域差推定—先史資源利用研究に向けて—. *考古学研究*.
- \*永田俊輔, 杉原 薫, 入野智久, 渡邊 剛, 山野博哉 (印刷中) 日本の亜熱帯域と温帯域におけるキクメイシ *Dipsastraea speciosa* (Dana, 1846) の骨格成長. *日本サンゴ礁学会誌*.
- Seo I, Lee YI, Watanabe T, Yamano H, Shimamura M, Yoo CM, \*Hyeong K (in press) A skeletal Sr/Ca record preserved in *Dipsastraea (Favia) speciosa* and implications for coral Sr/Ca thermometry in mid-latitude regions. *Geochem. Geophys. Geosystems*.
- \*Shinjo R, Asami R, Huang K-F, You C-F, Iryu Y (in press) Ocean acidification trend in the tropical North Pacific since the mid-20th century reconstructed from a coral archive. *Marine Geology*.
- \*Hongo C, Yamano H (2013) Species-specific responses of corals to bleaching events on anthropogenically turbid reefs on Okinawa Island, Japan, over a 15-year period (1995-2009). *PLoS One* 8, e60952. doi:10.1371/journal.pone.0060952.
- \*鈴木倫太郎, 長谷川 均, 前川 聡, 柴田 剛, 佐川鉄平, 後藤慶之, 市川清士 (2012) サンゴ礁浅海域における保全を目的とした地図の作製. *地図* 50-1: 1-16.
- \*Yamano H, Sugihara K, Goto K, Kazama T, Yokoyama K, Okuno J (2012) Ranges of obligate coral-dwelling crabs extend northward as their hosts move north. *Coral Reefs* 31:663.
- \*Yamano H, Sugihara K, Watanabe T, Shimamura M, Hyeong K (2012) Coral reefs at 34°N, Japan: Exploring the end of environmental gradients. *Geology*, 40:835-838.
- \*Yamazaki A, Watanabe T, Tsunogai U (2011) Nitrogen isotopes of organic nitrogen in reef coral skeletons as a proxy of tropical nutrient dynamics. *Geophys. Res. Lett.* 38:L19605.
- \*長谷川均 (2011) 陸域の開発行為に伴うサンゴ礁環境の悪化 -石垣島白保サンゴ礁を例に-. *日本リモートセンシング学会誌* 31:73-86.
- \*山野博哉, 浪崎直子 (2011) 生物多様性条約第10回締約国会議におけるサンゴ礁の位置付けと、保全・再生に対する取り組み. *沿岸域学会誌*, 23:31-37.

- \*Kayanne H, Yasukochi T, Yamaguchi T, Yamano H, Yoneda M (2011) Rapid settlement of Majuro Atoll, central Pacific, following its emergence at 2000 years CalBP. *Geophys. Res. Lett.* 38:L20405.
- \*Yamano H, Sugihara K, and Nomura, K. (2011) Rapid poleward range expansion of tropical reef corals in response to rising sea surface temperatures. *Geophys. Res. Lett.* 38:L04601.
- \*Fujita K, Osawa Y, Kayanne H, Ide Y, Yamano H (2009) Distribution and sediment production of large benthic foraminifers on reef flats of the Majuro Atoll, Marshall Islands. *Coral Reefs* 28: 29-45.
- \*山野博哉, 浪崎直子 (2009) 最前線のサンゴ：千葉県館山のエンタクミドリイシ群体の変化. *日本サンゴ礁学会誌* 11: 71-72.
- \*渡邊 剛, 島村道代, 山野博哉 (2009) 北限サンゴ礁から採取されたキクメイシ属サンゴ骨格中の酸素・炭素同位体比. *日本サンゴ礁学会誌* 11: 83-90.
- \*Shimamura M, Hyeong K, Watanabe T, Irino T, Yoo CM, Kim WS (2009) Opposed trend of skeletal carbon isotopic ratios found in two different coral species collected from the same site: Genus-dependent responses. *Proc. 11th Int. Coral Reef Symp.* 87-91.
- Murase T, Tanaka M, Tani T, Miyashita Y, Ohkawa N, Ishiguro S, Suzuki Y, Kayanne H, \*Yamano H (2008) A photogrammetric correction procedure for light refraction effects at a two-medium boundary. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 74: 1129-1136.
- \*Hyeong K, Shimamura M, Watanabe T, Yamano H, Sugihara K, Kim J (2008) Evaluation of Jeju/Tsushima hermatypic corals as sea surface temperature (SST) recorders. *Ocean Polar Res.* 30: 351-359.
- \*Tsunoda T, Kawahata H, Suzuki A, Minoshima K, Shikazono N (2008) East Asian monsoon to El Niño/Southern Oscillation: A shift in the winter climate of Ishigaki Island accompanying the 1988/1989 regime shift, based on instrumental and coral records. *Geophys. Res. Lett.* 35: L13708.

## B02 サンゴ礁—人間共生系の景観史

- \*山口徹 (2013) 絡み合う人と自然の歴史学に向けて—その学際的広がりにもとづく理論的考察. *史学* 82 (印刷中).
- \*小林竜太, 山口徹, 山野博哉 (2013) リモートセンシングによる石垣島サンゴ礁形成史の地域差推定—先史資源利用研究に向けて. *考古学研究* 60 (印刷中).
- \*下田健太郎 (2013) 石垣島の「エコツアーリズム」を紡ぐ実践と語り. *三田社会学* 18 (印刷中).
- \*深山直子 (2012) 2011年クライストチャーチ地震への『マオリの対応』—自然災害時におけるエスニック・リソースの有効性に関する試論. *コミュニケーション科学* 37:123-146.
- \*Kayanne H, Yasukochi T, Yamaguchi T, Yamano H, Yoneda M (2011) Rapid settlement of Majuro Atoll, central Pacific, following its emergence at 2000 years CalBP. *Geophys. Res. Lett.* 38:L20405.
- \*深山直子, 石森大知 (2010) 「沈む」島の現在—ツバル・フナフチ環礁における居住を巡る一考察. *史学* (三田史学会) 79: 57-75.
- \*棚橋訓 (2010) 島の脆さ、島の強さ—オセアニアの環礁社会に思う. *オセアニア* 81:1-3.
- \*Yamaguchi T, Kayanne H, Yamano H (2009) Archaeological investigation of the landscape history of an oceanic atoll: Majuro, Marshall Islands. *Pacific Science* 63:537-565.
- \*Yamaguchi T (2009) Book review of 'Vanished Islands and Hidden Continents of the Pacific' by P.D. Nunn, *People and Culture in Oceania* 25:101-105.
- \*山口徹, 甲斐祐介 (2010) ピット耕地の景観史—マーシャル諸島マジロ環礁のジオアーケオロジー調査から. *社会人類学年報* 33:129-150.
- \*山口徹 (2012) 夢ふくらむ南海の神秘そして樂園—歴史人類学の視点から、シリーズ文学部は考える「夢を考える」慶應義塾大学出版会 pp.25-41.
- \*棚橋訓 (2010) 地図と権力—マーシャル諸島ローラ島の地図作製をめぐる権力作用の一考察. 知の太陽へ、大洋の地へ—アジア経済研究所オセアニア研究シリーズ (塩田光喜 編) 彩流社 pp.167-202.
- \*棚橋訓 (2010) 植民地主義との邂逅、朝倉世界地理講座—台地と人間の物語—第15巻オセアニア (片山一道・熊谷圭知 編) 朝倉書店 pp.132-146
- \*山口徹 (2009) 「高い島」と「低い島」—歴史生態学の視点から、オセアニア学 (日本オセアニア学会 編) 京都大学学術出版会 pp.117-131
- \*棚橋訓 (2009) 聖恩の景観史—マーシャル諸島にみる軍政期南洋群島統治の一断面. *オセアニア学* (日本オセアニア学会 編) 京都大学学術出版会 pp.334-344.
- \*吉田俊爾 (2008) クック諸島出土ポリネシア人の人類学的研究. *サンゴ礁の景観史* (近森正 編) 慶應義塾大学出版会 pp.387-404
- \*山口徹 (2008) クロチョウガイをめぐる環礁の文化史—北部クック諸島プカプカ環礁の考古学調査. *サンゴ礁の景観史* (近森正 編) 慶應義塾大学出版会, pp149-173.

## C01 地球温暖化に対するサンゴ礁の応答

- \*Inoue S, Kayanne H, Yamamoto S, Kurihara H (2013) Spatial community shift from hard to soft corals in acidified water. *Nature Climate Change* 3, doi: 10.1038/NCLIMATE1855
- \*Sinniger F, Morita M, Harri S (2013) Locally extinct coral species *Seriatopora hystrix* found at upper mesophotic depths in Okinawa. *Coral Reefs* 32:105.
- Takahashi A, \*Kurihara H (2013) Ocean acidification does not affect the physiology of the tropical coral *Acropora digitifera* during a 5-week experiment. *Coral Reefs* 32:305-314.
- \*Hongo C, Yamano H (2013) Species-specific responses of corals to bleaching events on anthropogenically turbid reefs on Okinawa Island, Japan, over a 15-year period (1995-2009) *PLoS ONE* 8: e60952.
- \*Kayanne H, Hongo C, Okaji K, Ide Y, Hayashibara T, Yamamoto H, Mikami N, Onodera K, Ootsubo T, Takano H, Tonegawa M, Maruyama S (2012) Low species diversity of hermatypic corals on an isolated reef, Okinotorishima, in the northwestern Pacific. *Galaxea, JCRS* 14:73-95.
- \*Yamamoto S, Kayanne H, Terai M, Watanabe A, Kato K, Negishi A, Nozaki K (2012) Threshold of carbonate saturation state determined by CO<sub>2</sub> control experiment. *Biogeoscience* 9:1441-1450.
- \*Dadhich AP, Nadaoka K, Yamamoto T, Kayanne H (2012) Detecting coral bleaching using high-resolution satellite data analysis and 2-dimensional thermal model simulation in the Ishigaki fringing reef, Japan. *Coral Reefs* 31:425-439.
- \*Kurihara H, Takano Y, Kurokawa D, Akasaka K (2012) Ocean acidification reduces biomineralization-related gene expression in the sea urchin, *Hemicentrotus pulcherrimus*. *Mar. Biol.* 159:2819-2826.
- \*Hamanaka N, Kan H, Yokoyama Y, Okamoto T, Nakashima Y, Kawana T (2012) Disturbances with hiatus in high-latitude coral reef growth during Holocene: Correlation with millennial-scale global climate change. *Global Planet. Change* 80-81:21-23.
- Nesa B, Baird AH, Harri S, Yakovleva I, \*Hidaka M (2012) Algal symbionts increase DNA damage in coral planulae exposed to sunlight. *Zool. Studies* 76, 41-47.
- \*Yamano H, Sugihara K, Watanabe T, Shimamura M, Hyeong K (2012) Coral reefs at 34°N, Japan: Exploring the end of environmental gradients. *Geology*, 40:835-838.
- \*Nakamura N, Kayanne H, Iijima H, McClanahan TR, Behera SK, Yamagata T (2011) Footprints of IOD and ENSO in the Kenyan coral record. *Geophys. Res. Lett.* 38:L24708.
- \*Kayanne H, Yasukochi T, Yamaguchi T, Yamano H, Yoneda M (2011) Rapid settlement of Majuro Atoll, central Pacific, following its emergence at 2000 years CalBP. *Geophys. Res. Lett.* 38:L20405.
- \*Hongo C, Kayanne H (2011) Key species of hermatypic coral for reef formation in the northwest Pacific during Holocene sea-level change. *Mar. Geol.* 279:162-177.
- \*Hongo C (2011) Holocene key coral species in the Northwest Pacific: indicators of reef formation and reef ecosystem responses to global climate change and anthropogenic stresses in the near future. *Quaternary Sci. Rev.* 35:82-99.
- \*Harri S, Yamamoto M, Hoegh-Guldberg O (2010) The relative contribution of dinoflagellate photosynthesis and stored lipids to the survivorship of symbiotic larvae of the reef-building corals. *Mar. Biol.* 287:1215-1224.
- \*Hongo C, Kayanne H: Holocene sea-level record from corals (2010) Reliability of paleodepth indicators at Ishigaki Island, Ryukyu Islands, Japan. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.* 287:143-151.
- \*Diaz-Pulido G, Harri S, McCook LJ, Hoegh-Guldberg O (2010) The impact of benthic algae on the settlement of a reef-building coral. *Coral Reefs* 29:203-208.

## C02 複合ストレスの包括的評価・予測とサンゴ礁生態系応答モデル解析

- \*Nakamura T, Nadaoka K, Watanabe A (2013) A coral polyp model of photosynthesis, respiration and calcification incorporating a transcellular ion transport mechanism. *Coral Reefs*, in press, doi:10.1007/s00338-013-1032-2.
- \*Watanabe A, Yamamoto T, Nadaoka K, Maeda Y, Miyajima T, Tanaka Y, Blanco AC (2013) Spatiotemporal variations in CO<sub>2</sub> flux in a fringing reef simulated using a novel carbonate system dynamics model. *Coral Reefs* 32:239-254.
- \*Lien YT, Keshavmurthy S, Nakano Y, Plathong P, Huang H, Hsu CM, Fukami H, Yamashita Y, Hsieh HJ, Wang JT, Chen CA (2013) Host genetics and Symbiodinium D diversity in a stress-tolerant scleractinian coral, *Oulastrea crispata*, in the West Pacific. *Mar Ecol Prog Ser* 473:163-177.
- \*Yasuda N, Abe M, Takino T, Kimura M, Lian C, Nagai S, Nakano Y, Nadaoka K (2012) Large-scale mono-clonal structure in the north peripheral population of blue coral, *Heliopora coerulea*. *Marine Genomics* 7:33-35.
- \*Yasuda N, Nakano Y, Yamashiro H, Hidaka M (2012) Skeletal structure and progression of growth anomalies in *Porites australiensis* in Okinawa, Japan. *Dis Aqua Org* 97:237-247.
- \*Dadhich AP, Nadaoka K, Yamamoto T, Kayanne H (2012) Detecting coral bleaching using high-resolution satellite data analysis and 2-dimensional thermal model simulation in the Ishigaki fringing reef, Japan. *Coral Reefs* 31:425-439.
- \*Dadhich AP, Nadaoka K (2012) Analysis of terrestrial discharge from agricultural watersheds and its impact on nearshore and offshore reefs in Fiji. *J. Coast. Res.* 28:1225-1235.
- \*Blanco AC, Watanabe A, Nadaoka K, Motooka S, Herrera EC, Yamamoto T (2011) Estimation of nearshore groundwater discharge and its potential effects on a fringing coral reef. *Mar. Poll. Bull.* 62:770-785.
- \*Flot JF, Blanchot J, Charpy L, Cruaud C, Licuanan WY, Nakano Y, Payri C, Tillier S (2011) Incongruence between morphotypes and genetically delimited species in the coral genus *Stylophora*: phenotypic plasticity, morphological convergence, morphological stasis or interspecific hybridization? *BMC Ecology* 11.
- \*Tanaka Y, Miyajima T, Watanabe A, Nadaoka K, Yamamoto T, Ogawa H (2011) Distribution of dissolved organic carbon

and nitrogen in a coral reef. Coral Reefs, 30:533-541.

- \*Tanaka Y, Ogawa H, Miyajima T (2011) Production and bacterial decomposition of dissolved organic matter in a fringing coral reef. J. Oceanogr. 67:427-437.
- \*Blanco AC, Nadaoka K, Yamamoto T, Kinjo K (2010) Dynamic evolution of nutrient discharge under stormflow and baseflow conditions in a coastal agricultural watershed in Ishigaki Island, Okinawa, Japan, Hydrol. Processes 24:2601-2616.
- \*Obuchi M, Fujita Y, Nakano Y, Uehara T, Motowaka T (2010) Reproductive biology and early life history of the hermaphroditic feather star *Dorometra sesokonis* (Echinodermata: Crinoidea). Mar. Biol. 157:1192-1201.
- \*Lu LF, Miyazawa Y, Cui W and Nadaoka K (2010): Numerical study of surface water circulation around Sekisei Lagoon, southwest Japan. Ocean Dynamics 60(2): 359-375.
- \*Tanaka Y, Ogawa H, Miyajima T (2010) Effects of nutrient enrichment on the release of dissolved organic carbon and nitrogen by the scleractinian coral *Montipora digitata*. Coral Reefs 29:675-682.
- \*Blanco AC, Nadaoka K, Watanabe A, Yamamoto T, Motooka S, Herrera, EC, Kinjo K, Paringit MCR (2009) A comprehensive assessment of terrestrial loadings and their influence on a fringing reef in Ishigaki Island, Okinawa, Japan. 5th International Conference on Asian and Pacific Coasts 4: 228-235.
- Iizuka H, Tamura H, Pokavanich T, Rubio-Paringit MCD, \*Nadaoka K, Fortes MD (2009): Highly skewed tidal circulation pattern and water quality in Puerto Galera Bay, Philippines. Coastal Engineering Journal 51: 1-21.

## (2) アウトリーチ活動（ホームページ、公開発表等）

■ホームページ <http://www.coralreefscience.jp>

ブログ <http://coralreefscience.seesaa.net>

### ■ニュースレター（全7号予定 各2000部発行）

- 平成21年08月01日 サンゴ礁学 NewsLetter Vol. 1  
平成21年11月01日 サンゴ礁学 NewsLetter Vol. 2  
平成22年07月16日 サンゴ礁学 NewsLetter Vol. 3  
平成22年11月22日 サンゴ礁学 NewsLetter Vol. 4  
平成23年12月26日 サンゴ礁学 NewsLetter Vol. 5  
平成25年12月末 サンゴ礁学 NewsLetter Vol. 6（予定）  
平成26年04月以降 サンゴ礁学 NewsLetter 最終号（予定）

### ■ワークショップ及び成果発表会（全12回開催）

- 平成20年11月22日 第1回公開ワークショップ 静岡県グランシップ  
平成21年11月27日 第2回公開ワークショップ 沖縄県本部公民館  
平成22年01月26日 ワークショップ①「フェイズシフト」 東京大学  
平成22年03月23日 ワークショップ②「モデル及び環境経済」 東京工業大学  
平成22年05月08日 ワークショップ③「研究成果発表会」 東京大学  
平成22年06月23日 国際ワークショップ タイ・プーケット  
平成22年12月04日 第3回公開ワークショップ 茨城県つくば市  
平成23年11月06日 第4回公開シンポジウム 沖縄県那覇市  
平成24年07月09-13日 国際ブース展示@第12回国際サンゴ礁シンポジウム オーストラリア・ケアンズ  
平成24年07月12-13日 国際ミニシンポジウム「サンゴ礁のストレス応答」@第12回国際サンゴ礁シンポジウム オーストラリア・ケアンズ  
平成25年11月25日 第5回公開シンポジウム 東京大学本郷キャンパス  
平成25年03月30日 一般公開シンポジウム 沖縄県立博物館・美術館講堂

### ■地域との連携・意見交換会・ポスター展（全18回・沖縄本島および石垣島で開催）

- 平成21年08月23日 第1回白保地域住民向け説明会及び意見交換会  
平成22年02月19日 石西礁湖自然再生協議会参加及びWWF会合  
平成22年03月25日 B02班研究成果公開①「絡み合う人と自然の歴史学のために」  
平成22年03月26日 B02班「人文科学者と歩く名蔵フィールド・トリップ・エコツーリズム事業者意見交換会」  
平成22年08月19-20日 B02班研究成果公開②「絡み合う人と自然の歴史学のために」  
平成22年08月31日 第2回白保地域住民向け成果報告会及び意見交換会  
平成22年09月19-26日 総括班ポスター出展「沖縄科学の最前線2010」  
平成22年11月05-21日 B02班ポスター出展「石垣港離島ターミナル アンパル展」  
平成23年02月20日 ポスター出展「第6回白保ゆらていく祭」

→以降「WWFしらほサンゴ村常設展」としてポスター通年展示  
 平成 23 年 03 月 05-13 日 石垣島サンゴウィークポスター展  
 平成 23 年 08 月 19 日 B02 班研究成果公開③「絡み合う人と自然の歴史学のために」  
 平成 23 年 08 月 20 日 B02 班研究成果公開④「絡み合う人と自然の歴史学のために」  
 平成 23 年 08 月 20 日 第 3 回白保地域住民向け成果報告会及び意見交換会  
 平成 23 年 08 月 20-21 日 ポスター解説「WWFしらほサンゴ村常設展」  
 平成 23 年 11 月 20 日 ポスター出展「第 7 回白保ゆらていく祭」  
 平成 24 年 03 月 10 日 第 4 回白保地域住民向け成果報告会及び意見交換会  
 平成 24 年 08 月 05-06 日 第 5 回白保地域住民向け成果報告会「白保の海での実験研究」  
 「グラスボートでの調査地見学会」【見学会のみ台風のため中止】  
 平成 24 年 08 月 11 日 B02 班研究成果公開⑤「絡み合う人と自然の歴史学のために」

#### ■サマースクールの開催（全 4 回）

平成 21 年 08 月 22-25 日 石垣島にて第 1 回サマースクール開催  
 平成 21 年 11 月 21-23 日 東京大学駒場祭にて成果発表ブース出展  
 平成 22 年 09 月 13-18 日 瀬底島にて第 2 回サマースクール開催  
 平成 23 年 09 月 05-10 日 瀬底島にて第 3 回サマースクール開催  
 平成 24 年 09 月 17-22 日 瀬底島にて第 4 回サマースクール開催  
 ⇒平成 25 年度以降も東京大学海洋アライアンス・海洋学際教育プログラム「海洋科学野外実習 II」および琉球大学熱帯生物圏研究センター公開臨海実習の合同で継続実施することとなった。

#### ■サンゴ礁学若手の会研究会の開催（全 7 回）

平成 21 年 04 月 25 日 第 1 回若手の会研究会 東京大学  
 平成 21 年 06 月 24 日 第 2 回若手の会研究会 茨城県つくば市  
 平成 21 年 11 月 26 日 第 3 回若手の会研究会 沖縄県瀬底島  
 平成 22 年 05 月 26 日 第 4 回若手の会研究会 千葉県幕張  
 平成 22 年 09 月 15 日 第 5 回若手の会研究会 沖縄県瀬底島  
 平成 23 年 11 月 2~4 日 第 6 回若手の会研究会 沖縄県琉球大・那覇  
 平成 24 年 01 月 27 日 第 7 回若手の会研究会 東京大学  
 ⇒平成 25 年度以降は日本サンゴ礁学会若手会として継続して研究会を実施することとなった。

#### ■サンゴ礁学若手の会雑誌「月刊ダイバー」コラム連載「サンゴ礁を学問する」（全 18 回）

第 1 回「65 名の研究者が、人とサンゴ礁の共生を探る」 浪崎直子（国環研）  
 第 2 回「ミクロの世界からサンゴの白化の原因を探る」 鈴木利幸（静岡大）  
 第 3 回「宇宙からサンゴの変化を探る」 石原光則（国環研）  
 第 4 回「化石サンゴでタイムトリップ」 本郷宙軌（国環研）  
 第 5 回「ストレス社会に暮らすサンゴ」 樋口富彦（静岡大）  
 第 6 回「海が酸性化すると、サンゴはどうなる？」 高橋麻美（琉球大）  
 第 7 回「白い砂が海洋酸性化からサンゴ礁を守る」 山本将史（東京大）  
 第 8 回「ハードからソフトに、主役のサンゴが交代!？」 井上志保里（東京大）  
 第 9 回「八重山では、いつからサンゴ礁が利用され始めたのか」 小林竜太（慶應大）  
 第 10 回「サンゴ礁に向けられる多様なまなざし」 下田健太郎（慶應大）  
 第 11 回「サンゴの精子と卵の認識」 井口 亮（琉球大）  
 第 12 回「サンゴの気持ちを考える」 中村隆志（東工大）  
 第 13 回「サンゴは褐虫藻を選んでいる」 湯山育子（静岡大）  
 第 14 回「サンゴの年輪は、気候の記録フィルム」 中村修子（東京大）  
 第 15 回「海の砂漠に棲むサンゴの謎」 山崎敦子（北海道大）  
 第 16 回「サンゴを「丸裸」に ～世界初・全ゲノム解読完了～」 新里宙也（OIST）  
 最終回スペシャル前編「サンゴの謎解き Question!!」 サンゴ礁学若手の会  
 最終回スペシャル後編「サンゴの謎解き Question!!」 サンゴ礁学若手の会

## 10. 当該学問分野及び関連学問分野への貢献度（1 ページ程度）

研究領域の研究成果が、当該学問分野や関連分野に与えたインパクトや波及効果などについて記述してください。

### 当該分野への貢献

日本サンゴ礁学会は、サンゴ・サンゴ礁を対象とする生物、地学、化学、人文、保全など、異分野の研究者と行政、一般の研究交流、情報交換のプラットフォームとして、1997年に設立された。プラットフォームとしての機能ははたしてきたが、実際の異分野研究交流は、研究分野間の壁もあり、十分には進まなかった。しかし今回、サンゴ礁学を推進し異分野の共同研究が実現し、分野を超えた多くの共著論文（9. 研究成果のとりまとめで、各班の論文リストで他の班の研究者が共著者になっている論文を波下線で示したが、全体の5分の1が複数の班の共著である。自然と人文の共著もある）が公表された。さらに、サンゴ礁学会で繰り返しサンゴ礁学に関するシンポジウムを開催し、また『サンゴ礁学』（東海大学出版会）の章の執筆、編集に主体的に関わることによって、サンゴ礁学会の分野間の仕切りが低下し、学会内で異分野プラットフォームから異分野連携へ、さらに異分野融合への道へ大きく踏み出すことができた。さらに現在、研究領域の総まとめと海外への発信のために、英文の“Coral Reef Science”を Springer 社の Coral Reefs of the World のシリーズの1冊として出版するために、原稿の査読を進めている。

### 周辺分野への貢献

こうした分野横断的アプローチは、生物・生態系分野において大きなインパクトを持つ。地球規模や地域規模の複合ストレス応答に関しては、生物・生態系分野において今後の生態系・生物多様性保全に関して推進すべき課題として、JST 研究開発戦略センター「研究開発の俯瞰報告書（2013年）」生物多様性分野でも採り上げられた。サンゴ礁がローカル・グローバルなストレスによって衰退しつつある指標生態系であるという認識は、様々な分野で一般に共有されるようになった。温暖化による白化、酸性化、海面上昇など、地球温暖化に対する生態系の応答を理解・予測する上で、サンゴ礁はモデル生態系であり、本領域で得られた実験、野外におけるストレス応答の成果は、他の生態系に多くの示唆を与えた。さらに CO2 班が中心となって開発したサンゴ礁生態系応答モデルシステムは、サンゴ内部モデル（ポリプモデル）という類例を見ないモデルをコアモデルとしたもので、これによって複雑な環境要因の複合的な影響下にある現実のサンゴ礁生態系の動的な非線形応答過程を合理的に記述し予測することが可能となった。この成果は、たんにモデル開発上のインパクトに留まらず、さまざまな室内実験と現地をつなぐ新たな方法論と発展性を切り拓くものである。また、世界で初めてのサンゴ内部のマクロセンサやマイクロ技術による測定法の開発は、マイクロ技術の国際会議での、特別講演に招待される等の波及効果が見られた。

### 文理融合への貢献

生態系保全と人文・社会科学との連携に関しては、近年 JST 研究開発戦略センター等でも検討されている生物・生態系分野での重点推進課題となっている (<http://risk.kan.ynu.ac.jp/matsuda/2013/130423FE.html>)。本領域は生態系保全をめぐる、自然科学と人文科学が共同で研究を進めた例として、生態系一般の保全やさらに文理融合の事例として他の分野でも参照される例となる。人文分野に対しては、「ツバルとサンゴ礁—人間共生系研究の最前線—分析と解釈をめぐる対話」（日本オセアニア学会）や、「オセアニア環礁州島の景観史—文理融合型研究の成果—」（日本文化人類学会）を開催することによって、自然科学との連携の効果を強く印象づけた。

こうした文理融合の成果は、慶應義塾大学の専門講義「絡み合う人と自然の歴史学」や、東京大学海洋アライアンス・琉球大学熱帯圏生物研究センター瀬底研究施設共同の「サンゴ礁サマースクール」として、サンゴ礁を対象として本領域に参加した文理の研究者が共同で講義することによって、本領域終了後も大学の中に継続・発展させることができた。

### 一般社会への貢献

一般に対しては、「9. 研究成果のとりまとめ」の（2）アウトリーチ活動で示した通り、ホームページやニュースレターに留まらず、研究対象のフィールドにおける成果還元（現地説明会、懇談会）や、様々なシンポジウム、分科会を通じて本領域の成果を公表した。また、本領域に関わる報道も多数なされた。さらに、総まとめとして領域終了時の2013年3月に、沖縄県立博物館において「暮らしの中のサンゴ礁—サンゴと人がひらく南島の人類誌」を開催した。

