

# 地球規模課題対応国際科学技術協力

(環境・エネルギー研究分野「気候変動の適応又は緩和に資する研究」領域)

## 海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持

(ツバル)

平成 24 年度実施報告書

代表者：茅根 創

東京大学 大学院理学系研究科・教授

<平成 20 年度採択>

## 1. プロジェクト全体の実施の概要

本国際共同研究の目的(上位目標)は、沿岸生態系の保全・修復および人為支援によって、砂の供給・運搬・堆積を促進し、将来の海面上昇に対して復元力の高い海岸・国土を再生することである。ツバルはすでに海面上昇によって水没しているという単純な見方を排し、現在起こっている問題は主にローカルな問題であり、それが将来起こるグローバルな環境変動に対してツバルが自然に持っていた復元力を損ねているという視点に立って、ツバルの復元力を再生して地球温暖化に対応する。

上記目標を達成するために、ツバルの首都があるフナフチ環礁において、ローカルな人為影響とグローバルな温暖化による海面上昇を考慮した砂収支モデルを構築し、生態工学的な砂生産・運搬・堆積を促進する方策を立案する。さらに共同研究を通じて、沿岸環境と生態系を継続的にモニタリングする現地の体制を整備し、それを継続的に維持する人材をツバル国内で育成する。

研究初年度の2009年は、ツバル国フナフチ環礁において、地形・生態、リモートセンシング、海岸工学調査を行って、サンゴと有孔虫の分布とそれらによる砂の生産、運搬(沿岸漂砂)、堆積を地図上に図示する「ハビタット・砂収支地図」のプロトタイプを作成した。さらに同地図上で、人為活動による生態系の劣化に伴う砂生産の減少や、人工構造物によって運搬・堆積が阻害されている海岸を特定し、その原因を推定・検証した。また、砂生産の増加をはかるため、有孔虫増殖水槽を設計して飼育実験を開始し、安定的に有孔虫を飼育し、水槽内で増殖させることに成功した。カウンターパートには、現地における生態調査と有孔虫の飼育実験のための基本的な技術指導を行った。

2010年度には、「ハビタット・砂収支地図」を現地において検証し、収支の定量化をはかった。また、同地図に基づいて、生態系の修復や養浜、運搬・堆積過程の人為的補助(堤防の建設やコースウェイの開削)などの施策を実施した場合、砂の堆積量がどのように促進されるか、逆に阻害することがないかを、慎重に検討・評価して、海岸侵食対策や海岸管理計画の策定を支援した。さらに、生態系劣化により砂の生産の場でありながらその低下が著しいサイトを特定して、サンゴと有孔虫の移植・増殖による砂生産の再生と長期的な島の維持の方針を決めた。こうした成果の評価と継続的なモニタリングのための体制は、現地カウンターパートとともに、現地において構築している。有孔虫増殖水槽では、カウンターパートとともに有孔虫増殖の最適条件を明らかにして、増殖技術の確立を目指す。海岸地形モニタリングのためのカウンターパートを特定し、養成をはじめた。

2011年度には、飼育水槽における有孔虫飼育技術の確立をはかるとともに、生育最適条件を探索して、「ハビタットマップ」における有孔虫ハビタットの生育環境と比較した。有孔虫ハビタットにおいて、有孔虫個体群の動態から、その生産量を見積もり、漂砂ポテンシャルと比較した。また人工基質の設置試験を行った。「ハビタットマップ」の現地検証を行い、衛星リモートセンシングとウェブカメラによる海岸線のモニタリングの試験と現地への技術移転を進めた。「コースウェイ開削」による漂砂・地形変化への定量的評価を行い「養浜」と「ドレッジ埋め戻し」などの施策の効果を評価する手法を検討した。また、これまでの定期的な測量結果を整理し、州島先端部とフォンガファレ島中央部の海岸地形の経年・季節変化を明らかにした。

2012年度には、有孔虫の安定的な飼育方法を確立するとともに、野外における最適な生息場所を特定した。有孔虫の生殖過程の調査を行って、無性生殖のプロセスを追うことに成功した。さらに、最適生息場所の分布を、リモートセンシングのハビタットマップによって特定した。また砂浜の監視手法の現地への技術移転を進めた。またフォンガファレ・テンガコ島の南端、北端、コースウェイ周辺の砂礫移動に伴う地形変化をまとめ、砂礫地形が安定して存在することを確認した。

## 2. 研究グループ別の実施内容

### 2. 1. 地形・生態班

#### ①研究のねらい

ツバル国フナフチ環礁の州島地形形成メカニズムに基づいて、生態工学的再生策を提案する。地形・生態班は、カウンターパートと連携して、地形・生態の基本的な調査を行うとともに、リモートセンシング、海岸工学、有孔虫班の成果と、開発調査のデータをまとめ、再生策に向けて研究全体の方針を定める。また、ツバルに有孔虫増殖水槽を設置して、増殖試験を行い、現地に移植して砂の生産を促進する。

#### ②研究実施方法

ハビタットマップ作成について、先ずリモートセンシング班に衛星画像に基づいてサンゴ、有孔虫、藻場、砂地の分布図を仮に作成してもらう。次に、これに基づいて有孔虫班、開発調査と連携して、測線を設定して、実際のハビタットとサンゴ被度、有孔虫分布密度の現地における測線調査を行う。測線調査の結果をリモートセンシング班にフィードバックして、ハビタットマップを完成させる。

さらに、ハビタットマップから有孔虫の現存量を見積もり、有孔虫班による有孔虫生産量の解析結果をいれて、有孔虫の砂生産ポテンシャルと、実際の生産量を概算する。こうして求められた砂生産を、海岸工学班の漂砂ポテンシャルと比較して、砂の生産—運搬—堆積の過程を、ハビタットマップ上で半定量的に示し、砂の生産を増加させるためのターゲットエリアを選定する。

海水流水式の有孔虫増殖水槽において、有孔虫の成長・増殖最適条件を検討するとともに、成長・増殖力の大きな有孔虫群集を、ターゲットエリアに移植して、有孔虫ハビタットの拡大と砂生産の増加を目指す。

#### ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

有孔虫班とともに、測線調査を実施して、あらかじめリモートセンシング班が作成したハビタットマップ上に測線を投影して検証して、ハビタットマップのプロタイプを作成した。これに基づいて、フォンガファレ島の人口集中域の沿岸では、本来有孔虫・サンゴのハビタットでありながら、有孔虫とサンゴがまったく見られないことが明らかになった。これは、人口集中の影響で生態系が劣化して、有孔虫とサンゴの砂生産が劣化しているためであると考えた。また、フォンガファレ島北方のコースウェイが有孔虫砂の移動を妨げていること、第二次世界大戦時の海岸地形の改変が現在の海岸浸食につながっていることを確認した。

以上より、フォンガファレ島の砂浜再生のためには、コースウェイの開削とともに、コースウェイ外洋側の有孔虫ハビタットの拡大と生産量の増加が必要であることが明らかになった。現在のコースウェイ外洋側の有孔虫砂生産量は、 $2\text{L}/\text{m}^2/\text{年}$ である。コースウェイ外洋側で有効に砂をコースウェイに有効に集められる範囲(南側  $1.2\text{km}$ )の有孔虫ハビタットの面積は  $38000\text{ m}^2$  であるから、開削によってラグーン側に運搬される有孔虫砂は  $72\text{m}^3/\text{年}$  である。有孔虫砂の生産を、フナフチ環礁で最大の  $20\text{L}/\text{m}^2/\text{年}$  に上げることが目標である。

2010年4月に立ち上げた有孔虫水槽4基では、継続的に有孔虫が生息しており、一部では無性生殖による稚个体も観察された。適度な遮光が有孔虫の生育に適していることも明らかになった。

2011年度には、有孔虫増殖のために有孔虫活性度判定技術および幼稚体のための飼育技術を開発した。活性度判定技術として有孔虫の一種ホシズナの共生藻がストレス条件下で光合成能力が低下することを明らかにし、光合成能力の低下がホシズナ体表面の色として定量的に評価できることを示した。幼稚体のために開発した飼育技術を用いる事でホシズナの生残率は90%以上となり、対照群の生残率59-70%と比較してかなり改善された。さらに、「ハビタットマップ」で有孔虫ハビタットとされたゾーンの、さらに詳細なマイクロハビタットの環境条件を調査し、実験水槽においてその最適条件の探索を開始した。また、砂浜再生を目的として環境が悪化した海岸に人工基質を設置したところ2ヶ月で个体群が形

成されることを確認した。

2012 年度には、ホシズナの安定的な飼育方法を確立した。ホシズナの飼育には生息基質となる直立的な構造物を提供し、そこに鉛直方向の水流とサンゴ砂を組み合わせた複合的な攪乱を与えることで、平均サイズが  $0.5\text{mm}^2$  の集団が  $1.7\text{mm}^2$  に成長し、次世代の産出を確認できた。また、野外におけるホシズナの生息場所規定要因の解明を目的として微少地形に応答した個体群分布調査を行い、平均海面から±40cm の範囲の窪み構造を特に好むことを明らかにした。

#### ④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

有孔虫の分布とその季節的变化について、ツバル側カウンターパートの水産局研究部門のパイニューが、定点サンプリングを行っている。現地調査時に、共同で現地調査を行って、サンプリングと記載、室内におけるサンプル処理と観察など、基本的な手法を移転した。またこれらの期間外には、現地において毎月定点サンプリングを行い、結果を報告してもらっている。2010 年 10 月には、2011 年 11 月には、日本に招へいしてトレーニングを行うとともに、2011 年 11 月の日本サンゴ礁学会(那覇市)において口頭発表を行った。2012 年にはリージョナルカウンターパートとしてツバルのカウンターパートの指導をもらっている、フィジー南太平洋大学のアシシカ・シャルマを招へいして、11 月の日本サンゴ礁学会(東京大学)において口頭発表を行った。

#### ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)

当初は、有孔虫増殖水槽の設置は現地に資材を送り、現地で組み上げることを予定していた。しかしながら9月調査の際に、現地において資材の調達が困難であることがわかったため、基本的なユニットは日本で組み上げ、現地には完成したユニットを送付して、現地において組み立てるよう計画を変更した。さらに、ツバルにおける増殖技術構築を成功させるため、ツバルと並行して国内でも増殖実験水槽を立ち上げて増殖試験を進めることを決め、福岡に増殖水槽を立ち上げた。ツバルと福岡の増殖実験水槽について、JST, JICAに予算措置をとっていただいた。

ツバル増殖水槽について、2010 年4月に立ち上げたが、立ち上げ後の維持経費、とくに電気料金の問題が検討事項として上がっている。これまでに研究に必要な最小限度まで省力化をはかったが、ツバルの支出能力を超えているため、定常的な運転が困難になる可能性があり、対応を検討している。

## 2. 2. リモートセンシング班

### ①研究のねらい

リモートセンシングデータを用いた効率的なマッピングや海岸線変化のモニタリング手法を開発し、現地に移転することを目的としている。そのために、以下の5つの研究項目を設ける。

- 1) 地形とサンゴや有孔虫などの生息環境のハビタットマップを作成する。
- 2) リモートセンシングによって、過去の地形・生態変化を復元・解析して、海岸工学班の現地調査結果と比較する。
- 3) リモートセンシングによって、地形・生態変化を監視する手法を開発する。
- 4) 砂浜再生実験を評価する。
- 5) リモートセンシングによる砂浜監視手法を、現地の研究者・担当者に移転する。

### ②研究実施方法

ハビタットや海岸線の広域におけるマッピングとモニタリングには、衛星画像をはじめとするリモートセンシング技術の活用が効果的である。ハビタットマップに関しては、衛星画像を用いて分類を行い、現地データとの照合を行って作成を行う。海岸線に関しては、海岸線の抽出に有効な波長帯を検討するとともに、過去からの変化に

関する既存研究のレビューを行う。また、モニタリングには、衛星データを補完するものとして、定点カメラによるモニタリングが可能か検討を行う。こうした技術移転のために、最適なソフトウェア環境を整備する。

### ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

1) に関しては、フナフチ環礁フォンガファレ島において、2003年に取得された IKONOS 衛星画像を用いて、教師無し分類を行い、ハビタットマップを作成した。その結果を地形・生態班に提供し、有孔虫による砂生産量が見積もられた。2) に関しては、文献のレビューを行い、1984年と2003年の海岸線変化に関する結果を得た (Webb, 2006, SOPAC 報告書)。この結果と現地の建物や電源状況、対策場所等を参考に、フナフチ環礁フォンガファレ島においてカメラ設置場所の検討を行い、海岸線変化監視が可能な場所の選定を行った。3) に関しては、文献のレビューを進め、衛星データの近赤外画像を用いて海岸線を抽出できることとその精度を明らかにした (Yamano et al., 2006, Geomorphology 誌; Yamano, in press, Coral Reef Remote Sensing)。また、定点カメラのテストを行い、カメラの近赤外画像を用いた海岸線変化監視手法を検討した。日本国内において、近赤外画像が撮影可能な定点カメラを用いて実地観測を行い、海岸線変化抽出の精度検証を行った。4) 及び 5) に関しては、3) の結果に基づき、衛星データと定点カメラを用いた砂浜再生実験評価システムを考案し、技術移転を行うことを検討している。上記の検討結果に基づき、設置するカメラシステムとして BRINNO 社製 GardenWatchCam を候補として選定し、現地に数ヶ月間設置を行い、トラブル無く運用されていることと、汀線変化が観測されていることを確認した。また、下記の通り、現地担当者への運用方法の移転を開始するとともに、マニュアルを作成しているところである。

2011年度から2012年度にかけては、2010年度に作成した「ハビタットマップ」の現地検証を行った。また、衛星リモートセンシングとウェブカメラによって海岸侵食対策や砂浜再生実験の効果を検証するための技術を確認して海岸線のモニタリングに最適なカメラの設置方法を検討し、砂浜の監視手法の現地への技術移転を進めた。

### ④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

GIS やリモートセンシングを用いた解析やモニタリングに関して、カウンターパートを選定し、カウンターパートには、衛星データやカメラデータ等を用いた海岸線抽出結果を GIS 上で整理する手法を伝達し、このプロジェクトでの調査の分担と、将来の海岸地形モニタリングを行うことを期待している。画像と定点カメラ画像からの海岸線抽出の原理について解説を行い、GIS ソフトを用いて近赤外衛星画像からの海岸線の抽出方法と、定点カメラの設定手順などの基本的な運用方法に関するトレーニングを行った。

### ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)特になし。

## 2.3. 海岸工学班

### ①研究のねらい

海岸工学的な観点からツバル海岸の侵食・堆積過程の解明し、その結果からツバルの海岸での砂浜を再生する方策を提案することを目的としている。主に通常波浪・高波浪による沿岸漂砂とそれによって生じる地形変化(汀線変化)に注目する。さらに、漂砂の捕捉機構としての海岸植生の役割や、海岸植生環境としての地下水および海岸水の水質の解析も行う。

### ②研究実施方法

フナフチ環礁フォンガファレ島において、島の北端、南端および中央部(ラグーン側)の海岸において代表的な地点の断面地形を毎年8月期と3月期に測量する。これらの結果を比較することにより、地形変化の状況を把握

することができる。また、北端および中央部の主な砂浜の領域を踏査により抽出し、砂浜域の移動状況を把握する。

ツバルの気象観測所やその他で収集された気象データを用いてフォンガファレ島周辺の波浪場環境を推定し、沿岸漂砂量(地形変化量)を推定するモデルを構築する。その際、地形の局所的な変化や人工構造物の影響を考慮できる解像度になるようにする。断面地形測量を行う海岸、およびその周辺において、海岸植生の状況や水質調査を行い、現状での侵食・堆積状況との比較を行う。

以上の調査解析結果と、リモートセンシング班による過去の地形変化結果や地形・生態班による有孔虫による底質供給量をもとに、フォンガファレ島海岸の地形変化予測モデルを開発する。それにより将来的な底質供給・運搬・堆積のバランスを評価する。そして、侵食域に対する適切な対策を検討し、提案する。また、同時に進行する開発調査プロジェクトとも調査データなどを共有し、侵食対策効果などを評価する。

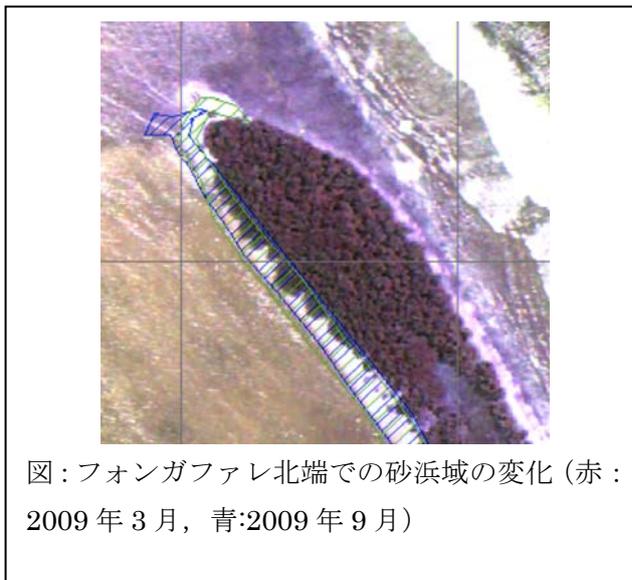
③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

2009年3月および8月に現地調査を行い、砂浜地形の変化を検出できた。図には、フォンガファレ島北端部の砂浜域が変化した様子を示す。この変化が季節的なものなのか高波浪イベントによるものなのかは今後の検討課題である。また、ECMWFによる波浪データを解析して、ツバル周辺での波浪場および風の場の年間変動を解析した。年間通じて南東の風が多いが、時折北または北西からやや強い風が吹くイベントがあり、それらと地形変化との関連が重要であると推察された。

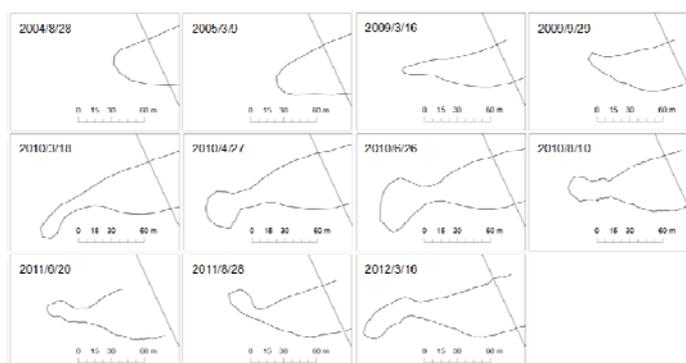
2010年3月および8月に現地調査を行い、フォンガファレ島砂浜域の継続調査を行うとともに、北端部と南端部・コースウェイ周辺に関してはRTKによる詳細地形測量も行った。さらに、2010年3月調査時にはラグーン側沿岸の2点(コースウェイ沖・バイアク沖)において波高・流速計を設置し、長期的な波浪・流動外力の観測を開始した。地形変化とその要因となる外力の統合的な観測が可能となった。これまでに得られた観測結果からフォンガファレ中部のAlapi海岸での日常的な漂砂傾向の把握と熱帯低気圧による急激な地形変化が生じていたものと考えられた。

2011年度は、「コースウェイ開削」による主に漂砂・地形変化への評価を定量的に行った。この中で、コースウェイ付近から、フォンガファレ中央部へ続く海岸での「養浜」と「ドレッジ埋め戻し」などの施策の効果を評価する手法を検討した。また、これまで定期的に行ってきた州島先端部での測量結果を整理し、現在でも州島先端部は活発に地形変化が生じていることを示した。このことは、州島全体の漂砂環境を改善するための基礎的知見となる。今後、土地被覆や水質調査も継続して行い、侵食域・堆積域に関する詳細な情報を収集する予定である。

2012年度は、これまでに引き続きフォンガファレ北端部、南端部およびコースウェイ周辺の地形測量をRTKを用いて行い、砂礫移動に伴う地形変化の検出を行った。さらに、特に南端の地形変化に着目して、これまでのデータを参照し考察した



図：フォンガファレ北端での砂浜域の変化(赤：2009年3月、青：2009年9月)



図：南端地形の変化

ところ、突端の舌状地形の形の変化は顕著だったものの、面積に大きな変動はなく、数年間を通じて侵食・堆積傾向を検出することはできなかった。この結果と波浪場の計算結果から、南端の舌状地形を構成している礫は比較的安定しているものと考えられた。また、波高計によるコースウェイおよびバイアクホテル前面の海域での波浪、流況観測も継続している。

#### ④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

簡易な測量調査や海岸域踏査を分担してもらいカウンターパートを問い合わせ中である。2010年3月の調査で、面接し決定する予定である。カウンターパートには、測量技術と結果をGIS上で整理する手法を伝達し、このプロジェクトでの調査の分担と、将来の海岸地形モニタリングを行うことを期待している。

カウンターパートを土地・測量局のアネ・タリアに決定した。2010年10月にはカウンターパートを来日させてのGIS・測量技術の講習を行い、比較的高度な処理技術の習得に成功した。また、カウンターパートにはフォンガファレ島中部のAlapi海岸における砂浜域の継続調査を依頼し、その調査の意味を理解したうえで遂行してもらうことができた。

#### ⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)特になし。

## 2. 4. 有孔虫班

### ①研究のねらい

フォンガファレ島周辺における有孔虫の分布と棲息密度を明らかにして、その規定要因と年間生産量を求める。

### ②研究実施方法

測線調査法によって有孔虫の分布と棲息密度を調べる。衛星写真による礁原の底質判別結果の情報を基に調査測線位置を決定した。各調査位置の外洋側と礁湖側の海岸に基点を設け、そこから沖に向けて海岸線に垂直に測線を引き、測線上の底質の種類と水深を記録しながら底質帯を区分した後、各底質帯で有孔虫分析用試料を採取した。ねじ蓋式円筒形プラスチック瓶とへらを用いて、有孔虫が付着する主要な海藻を各底質帯で4試料採取した。採取した試料をホルマリン固定して、研究室に持ち帰った。その後、生死判別のため染色処理を行い、0.5 mm以上の染色した生体有孔虫個体を計数した。そのデータを基に1 m<sup>2</sup>あたりの個体数に換算した。

また沿岸海水の栄養塩濃度を明らかにするため、水質分析用の採水も行った。各調査測線上の岸側と沖側で濾過した海水を10 mL採水した。また海水中の窒素の供給源を調べるため、海藻の窒素同位体比分析用の海藻を採取した。採取した海藻をソーティングした後、濾過海水で洗浄し、一定量の海藻を試料とした。

### ③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

調査は、2009年3月と9月に実施した。外洋側礁原では、*Baculogypsina sphaerulata* が最も優勢であり、*Amphistegina lobifera*, *Sorites orbiculus*などを伴う。*Baculogypsina*の棲息密度が最も高いのは3月に調査したTN測線(フォンガファレ島北端付近)の沿岸で、1 m<sup>2</sup>あたり100万個体以上である。反対に最も低いのは、9月に調査した集落北側に位置する3番測線と4番測線で、1 m<sup>2</sup>あたり1000個体以下である。

また、3月と9月の結果とも、集落付近では*Baculogypsina*の棲息密度が低い傾向がみられる。最も集落に近いSM測線(3月に調査)では1 m<sup>2</sup>あたりに1万個体であるが、同じ時期のTN測線と比較すると2桁も低い。これらの結果は、人為的要因が有孔虫の分布を規定している可能性を示唆する。

その他、9月の棲息密度は3月のそれと比べて全体的に低かった。このことは時期的に小さい個体が多いためと想定され、0.5 mm以下の有孔虫の棲息密度も検討したが、特に9月に小さい個体が多い傾向はなかった。このことから、雨季(3月)と乾季(9月)の違いに伴う環境要因の変化(波浪条件や地下水流出量など)に原因がある可能性が考えられる。

礁湖側礁原では、*Amphistegina lessonii*が優勢であり、*Sorites orbiculus*などを伴う。3月と9月の結果とも、*Amphistegina lessonii*の棲息密度が沖側で高くなる傾向がみられる。最も高い地点では1 m<sup>2</sup>あたりに10万個体である。沖側に多いためか、外洋側でみられたような集落付近での棲息密度の低下は特に認められない。

また、棲息密度は3月より9月に高い傾向がある。このことも外洋側と同様、雨季(3月)と乾季(9月)の違いに伴う環境要因の変化(波浪条件や地下水流出など)に原因がある可能性が考えられる。

*Amphistegina lessonii*の棲息密度は、外洋側の*Baculogypsina*のそれと比べても決して無視できない。しかし、礁湖の沖側にいるためか、礁湖側の海浜の堆積物にはその殻はほとんど含まれていない。そのため、フォンガファレ島や海浜堆積物形成への寄与は小さいと考えられる。

その他、フォンガファレ島の北端付近(TN測線)では、外洋側に多い有孔虫*Baculogypsina*がわずかに分布する(1 m<sup>2</sup>あたりに1万個体)が、他の測線ではみられない。このことは、今後コースウェイに水路を造るときに、礁湖側に外洋側に分布する有孔虫が流れ込み、礁湖側に棲息域を広げる可能性を示唆する。

2009年3月に栄養塩濃度を測定した結果、外洋側・礁湖側とも沿岸で高い傾向がみられる。外洋側では居住域付近で高くなる。また、時期によって濃度に違いがみられ、2009年9月は居住域付近でも1 μM以下と低かった。

海藻の窒素同位体比は特に外洋側で4 ‰以上を示す。採取地点に関係なく様に高いことは外洋の湧昇流由来の窒素を吸収している可能性を示唆する。礁湖側では、居住域付近で比較的高い傾向を示す。このことは居住域付近で人為廃水起源の窒素の寄与が高まることを示唆する。

居住域付近で沿岸水の栄養塩濃度や礁湖側の海藻の窒素同位体比が高いことは、人為廃水起源の栄養塩が負荷している可能性を示唆する。フォンガファレ島の人口密度増加に伴う人為廃水起源の栄養塩の負荷は、微細藻との共生系を崩壊させることで大型有孔虫が減少している可能性が考えられる。

コースウェイの外洋側礁原で毎月試料を採取し、成体(0.5 mm以上)の棲息密度を約1年間調べた結果、棲息密度は2月頃最も高くなり、 $1.4 \times 10^6$  個体/m<sup>2</sup>に達する。その後徐々に減少し、9月に最も低くなる( $9.3 \times 10^4$  個体/m<sup>2</sup>)。棲息密度の増加と減少はそれぞれ無性生殖による分裂と有性生殖による死亡を反映すると考えられる。

2010年8月に*Baculogypsina*の生体をサイズ別にケージに閉じ込めて、屋外水槽内と外洋礁原に一定期間設置して成長速度を調べる実験を行った。その結果、外洋側・屋外水槽とも、1 mmと0.125 mmのサイズの生体でそれぞれ3~7%/週、4~14%/週の成長増加がみられた。この成長速度は屋外水槽でも同程度であった。このことは屋外水槽では外洋側と同程度に成長することを示唆する。

有孔虫の細胞学的研究に着手し、配偶子形成の過程や時期、無性生殖が起こるときの細胞内変化について検討している。有性生殖をするガモントは核が一つであることが明らかとなった。これまでのところ配偶子が形成された細胞は確認されていない。

2011年度は、1) 有孔虫の生活史と基本的な生態を、現地観測と実験室において明らかにして、2) 有孔虫による砂の生産速度を見積もった。また、3) 増殖水槽や現地での実験により、有孔虫の生息と砂の生産の最適条件を明らかにした。

2012年度は、ホシズナの細胞切片を作成し、外部形態・初室の大きさ・核の数や状態との関係を検討

した。その結果、ほとんどの個体は初室が大きく、単核であるが、無性生殖を行う個体は初室が小さく、多核であることが明らかになった。そのため、ほとんどの個体は無性生殖で生まれ、無性生殖を行う個体は有性生殖で生まれることが確認された。しかし、単核の個体で有性生殖の前兆となる配偶子形成を確認できなかった。

④カウンターパートへの技術移転の状況(日本側および相手国側と相互に交換された技術情報を含む)

カウンターパートには、毎月有孔虫の定点サンプリングを依頼し、採取試料の同定法、分析方法を教えた。

2010年10月にカウンターパートのパイニウ氏が琉球大学で約1週間の技術研修を行った。これまで分析した試料のデータを整理するとともに、有孔虫の生理生態について学んだ。

⑤当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況(あれば)特になし。

### 3. 成果発表等

#### (1) 原著論文発表

① 本年度発表総数(国内2件、国際4件)

② 本プロジェクト期間累積件数(国内10件、海外8件)

③ 論文詳細情報(著者名、発表論文タイトル、掲載誌)

佐藤大作, 横木裕宗, 桑原祐史, 茅根創, 渡邊真砂夫: Funafuti 環礁 Fongafale 島における作用外力と地形変化に関する現地調査, 地球環境研究論文集, Vol. 17, pp.77-84, 2009.

Fujita, K., Osawa, Y., Kayanne, H., Ide, Y. and Yamano, H.: Distribution and sediment production of large benthic foraminifers on reef flats of the Majuro Atoll, Marshall Islands. *Coral Reefs*, **28**, 29-45 (2009).

M. Ishihara, H. Oguma, N. Namizaki and H. Yamano: Evaluation of the feasibility of web cameras to monitor coastal areas. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Technical Commission VIII Symposium, Kyoto, CD-ROM (2010)

中田聡史, 山野博哉, 梅澤 有, 藤田昌史, 渡邊真砂夫, 谷口真人: 比抵抗法による環礁州島における帯水層の塩水化評価. 日本リモートセンシング学会誌, 30, 317-330 (2010)

Osawa, Y., Fujita, K., Umezawa, Y., Kayanne, H., Ide, Y., Nagaoka, T., Miyajima, T., Yamano, H.: Human impacts on large benthic foraminifers near a densely populated area of Majuro Atoll, Marshall Islands. *Marine Pollution Bulletin*, **60**, 1279-1287, (2010).

佐藤大作, 横木裕宗, 櫻井勝, 桑原祐史: ツバル国フナフチ環礁における台風がラグーン内波浪場に及ぼす影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.66, No.1, pp.1236-1240, 2010.

佐藤大作, 横木裕宗, 櫻井勝, 桑原祐史: ツバル国フナフチ環礁の長期波浪環境変動解析, 地球環境研究論文集, Vol.18, pp.97-104, 2010.

佐藤大作, 横木裕宗, Ane Talia: 環礁州島ラグーン側砂浜海岸における地形変化機構の現地調査, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.67, No.2, I\_1331-I\_1335, 2011.

佐藤大作, 横木裕宗, 茅根創: コーズウェイ開削による環礁州島の持続的な州島保全の可能性, 土木学会論文集 G (環境), Vol.67, No.5, I\_247-I\_253, 2011.

藤田昌史, 佐藤大作, 桑原祐史, 横木裕宗: ツバル国フナフチ環礁のラグーン海岸における水質汚濁, 土木学会論文集 G (環境), 67 (5), 205-210, 2011

Perry, C.T., Kench, P.S., Smithers, S.G., Riegl, B., Yamano, H., O'Leary, M.J. (2011) Implications of reef

ecosystem change for the stability and maintenance of coral reef islands. *Global Change Biology*, 17, 3679–3696, (2011).

Kayanne, H., Yasukochi, T., Yamaguchi, T., Yamano, H. and Yoneda, M.: Rapid settlement of Majuro Atoll, central Pacific, following its emergence at 2000 years CalBP. *Geophysical Research Letters*, 38, L20405, doi:10.1029/2011GL049163 (2011).

Nakada, S., Umezawa, Y., Taniguchi, M., Yamano, H.: Groundwater dynamics of Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu. *Ground Water*, 50, 639–644, 2012.

Weisler, M.I., Yamano, H., and Hua, Q.: A multidisciplinary approach for dating human colonization of Pacific atolls. *Journal of Island and Coastal Archaeology*, 7, 102–125, 2012.

Hosono, T., Fujita, K., Kayanne, H.: Estimating photophysiological condition of endosymbiont-bearing *Baculogypsina sphaerulata* based on the holobiont color represented in CIE L\*a\*b\* color space. *Marine Biology* 159, 2663–2673, 2012.

藤田昌史・井上龍太郎・佐藤大作・桑原祐史・横木裕宗:ツバル国フナフチ環礁ラグーン海岸における生活排水の流出機構, 土木学会論文集 G(環境), Vol.68, No.5, pp.L121–L125, 2012

佐藤大作・横木裕宗・桑原祐史・Ane Talia・山野博哉・茅根創:環礁州島のサンゴ礫堆積地形の変化機構の解明, 土木学会論文集 G(環境), Vol.68, No.5, pp.L99–L104, 2012

Fujita, M., Suzuki, J., Sato, D., Kuwahara, Y., Yokoki, H., Kayanne, H. Anthropogenic impacts on water quality of the lagoonal coast of Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu Sustainability Science, 2013 (accepted)

## (2) 特許出願

- ① 本年度特許出願内訳 (国内 2 件、海外 0 件、特許出願した発明数 2 件)
- ② 本プロジェクト期間累積件数 (国内 2 件、海外 0 件)

## 4. プロジェクト実施体制

### (1) 「地形・生態」グループ (ツバル海岸の生態的維持機構の解明)

- ① 研究者グループリーダー名: 茅根 創 (東京大学・教授)
- ② 研究項目

- 1) ツバル海岸の地形・生態調査に基づいて、サンゴや有孔虫などの分布、現存量、生産量を求め、砂の供給ポテンシャルを求める。
- 2) リモートセンシング班, 海岸工学班と共同で, 砂収支マップを作成する。
- 3) 砂収支マップに基づいて, 砂浜形成の阻害要因を特定する。
- 4) 砂収支ポテンシャルに基づいて, 有孔虫班の成果に基づいて砂の供給促進を現場に適用して, 砂浜の再生をはかる。
- 5) 地形・生態調査の手法と砂浜の再生策を, 現地の研究者・担当者に移転する。

### (2) 「リモートセンシング」グループ (リモートセンシングによるツバル海岸環境マッピングと維持機構の解明)

- ① 研究者グループリーダー名: 山野 博哉 (国立環境研究所地球環境研究センター・主任研究員)
- ② 研究項目

- 1) リモートセンシングと地形・生態班の現地調査結果に基づいて, 地形とサンゴや有孔虫などの生息環境のハ

ビタットマップを作成する。

- 2) リモートセンシングによって、過去の地形・生態変化を復元・解析して、海岸工学班の現地調査結果と比較する。
- 3) リモートセンシングによって、地形・生態変化を監視する手法を開発する。
- 4) 砂浜再生実験を評価する。
- 5) リモートセンシングによる砂浜監視手法を、現地の研究者・担当者に移転する。

### (3)「海岸工学」グループ(海岸工学的なツバル海岸の浸食・堆積過程の解明)

①研究者グループリーダー名： 横木 裕宗（茨城大学・教授）

#### ②研究項目

- 1) 海岸沿いの沿岸流と、それによる砂の運搬過程を解析し、砂の運搬・堆積モデルを構築する。
- 2) 海岸沿いの被覆・土地利用、および海岸域の水質環境の解析を行い、海岸地域の土地被覆変遷および水質環境と海岸侵食・堆積域との関連を明らかにする。
- 3) 砂の運搬・堆積モデルと、地形・生態班による砂供給量見積もり、リモートセンシング班による過去の地形変化結果に基づいて、砂浜の地形変化の要因を明らかにする。
- 4) 砂の運搬・堆積過程への人工構築物(堤防、護岸、橋など)および海岸地域の土地被覆変遷・水質環境などの影響を評価する。
- 5) 砂浜再生に必要な支援策を定量的に見積もる。
- 6) 砂浜再生実験を評価する。
- 7) 海岸工学的手法による砂浜再生策とその評価方法を、現地研究者・担当者に移転する。

### (4)「有孔虫」グループ(有孔虫増殖の基礎的研究)

①研究者グループリーダー名： 藤田 和彦（琉球大学・准教授）

#### ②研究項目

- 1) 有孔虫の基本的な生態と生活史を、現地と実験室において明らかにする。
- 2) 有孔虫による砂の生産速度を見積もる。
- 3) 有孔虫の生息と砂の生産の最適条件を、現地と実験室において決定する。
- 4) 最適条件の創成による、砂浜再生の方策を提案し、その成果を評価する。
- 5) 生態系再生による砂浜再生手法を、現地の研究者・担当者に移転する。

以上