

地球規模課題対応国際科学技術協力 (SATREPS)
分野・領域「気候変動の適応又は緩和に資する研究」

課題・案件名「**海面上昇に対するツバル国の
生態工学的維持**」
(ツバル国:)

終了報告書

期間 平成20年10月～平成26年3月

代表者氏名: 茅根 創
(東京大学大学院理学系研究科・教授)

§ 1 プロジェクト実施の概要

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、ツバル国土の復元力を再生して地球温暖化に対応する方策を提案する。

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 年度は、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(堤防の建設やコーズウェイの開削)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。「コーズウェイ開削」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、コーズ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。

研究最終年度の 2013 年度には、養殖技術のコスト見積もり、モニタリングの検証、置き砂による漂砂の現地検証、有孔虫個体群動態のまとめを行った。さらに、これまでの成果に基づいて、砂の生産-運搬-堆積過程、その阻害要因、阻害要因を取り除いて島の再生をはかる生態工学的方策をまとめた。対策技術のオプションは、養浜、栈橋撤去(杭式栈橋への付け替え)、ドレッジ埋め戻し、コーズウェイ開削、海浜植生の再生、排水と廃棄物処理による水質改善とサンゴ礁生態系再生、有孔虫養殖など、その時間スケールと技術開発レベルの異なるいくつかのものがあ、そのどれもがツバル国土の自然の維持機構に逆らわず、それを促進する生態工学技術である。さらに、有孔虫

の増殖, リモートセンシングとモニタリング, 基盤地図の作成, 地形調査について, 技術マニュアルを作成した。

本研究によって, ツバルの国土がサンゴと有孔虫という生物の殻でつくられている事実に基づいて, その生産-運搬-堆積が阻害されなければ, 国土形成が維持されるということを定量的に示し, 現地の理解を得ることができた。プロジェクト終了にあたって, 砂浜の再生に向けて, 時間スケールと技術レベルの異なる複数の生態工学的対策を提案した。これらの前提となるのは, サンゴ・有孔虫生態系の再生で, そのためには排水・ゴミ処理が必要である。有孔虫増殖技術は, 重要な支援技術である。しかし, 生態系再生ができなくとも, コーズウェイ外洋側には十分な有孔虫が生息しているので, コーズウェイを開削すれば, 外洋からラグーンへの砂の供給が復活し, 砂浜の再生がはじまることをシミュレーションと実験によって検証した。一方でラグーン側の突堤撤去とドレッジ埋め戻しは, コーズウェイ開削によって砂の供給が再生しなければ, 十分な効果は得られない。養浜とサンドバイパスは, 将来的に砂浜の再生が進んだ際にもコンフリクトしない短期的な対策として提案した。

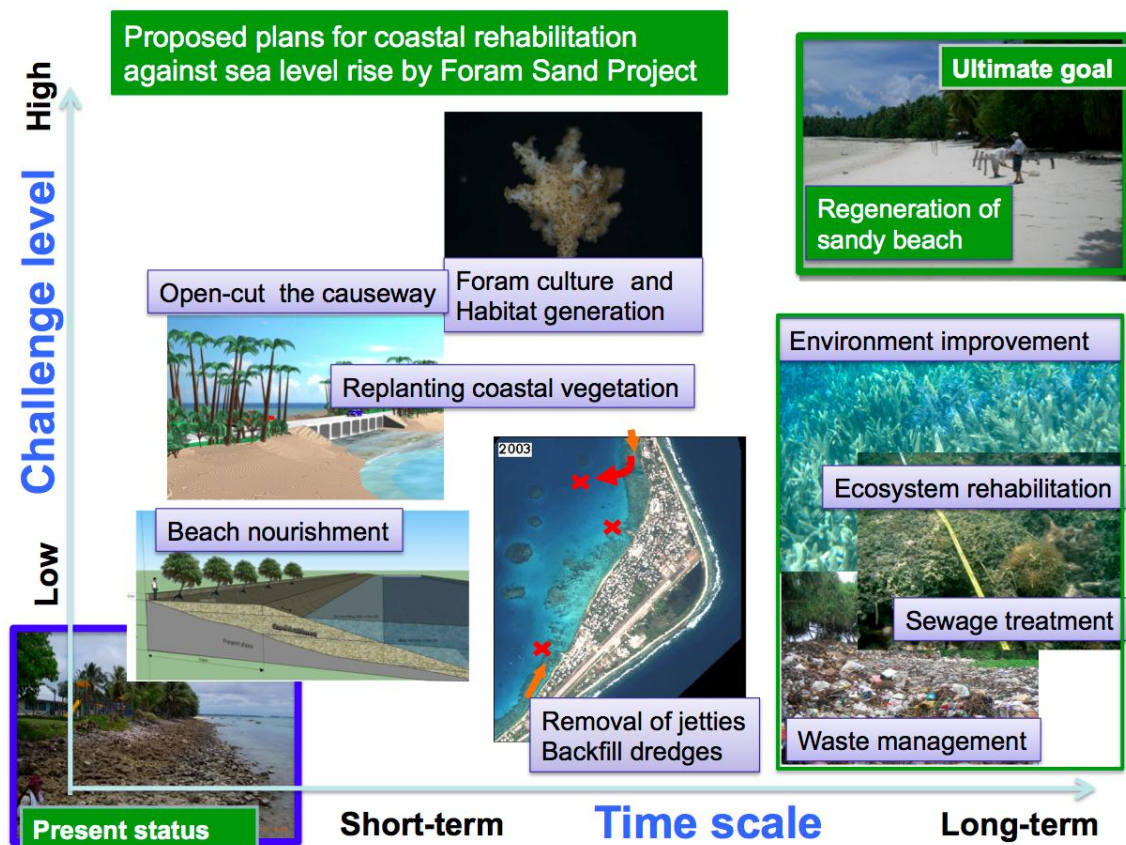


図 ツバル国海岸の生態工学的維持の方策の時間スケールと技術レベル。

本研究開始時には, 湿地への居住地の拡大は明らかにされていたが, 水質悪化による有孔虫の砂生産減少, 海岸構造物による漂砂移動の阻害, 護岸による砂の堆積阻害は, 現場観察による仮説であった。5年間の研究で, これら仮説を定量的に検証して, 阻害要因とその除去の方策について具体的に提案した。コーズウェイの開削や, 有孔虫の砂生産ポテンシャル, 有孔虫養殖技術, ラグーン海水汚染と生態系の劣化が予想以上に激しいことは, いずれも本研究で初めて得られた成果である。

§ 2. プロジェクト構想(および構想計画に対する達成状況)

(1) 当初のプロジェクト構想

本研究の目的は、ツバル国の首都があるフナフチ環礁において、有孔虫が作る砂の生産―運搬―堆積過程と、この一連の過程に対する人為影響を明らかにして、生態系の保全・修復によって将来の海面上昇に対して復元力の大きな島を再生することである。このために、フナフチ環礁において、有孔虫の生態とハビタットの調査を行って、砂の生産量を求める。次に、海岸工学調査によって砂の運搬・堆積過程を調査する。結果は、堆積物の調査と多時期の画像解析による地形変化によって得られた島の形成史・堆積速度と比較する。現在の堆積過程・速度を、長期的な堆積過程・速度と比較することによって、最近の人為影響を評価することができる。

得られた成果は、「ハビタット・砂収支地図」としてまとめる。同地図上で、人為活動による砂の生産の減少や、運搬・堆積が阻害されている海岸を特定して、生態系の修復・復元や、養浜、運搬・堆積過程の人為的補助によって、砂の堆積量がどのように促進するか。海面上昇によってこうした関係がどのように変化するかを予測・評価して、海岸保全政策に活かすとともに、現地機関と共同して、衛星画像や測量を用いた継続的なモニタリング体制を構築する。

(2) 新たに追加・修正など変更したプロジェクト構想

とくに大きな修正・変更はない。

(Plan of Operation に実績のバーチャートを線引きしたもの)

項目	H20 年度 (2 ヶ月)	H21 年度	H22 年度	H23 年度	H24 年度	H25 年度 (10 ヶ月)
1. ツバル海岸の地形・生態的維持機構の解明（地形・生態班） ・地形・生態調査 ・砂収支マップ作成 ・阻害要因の特定 ・有孔虫増殖技術開発 ・砂浜再生（実験） ・ツバル研究者の能力育成						
	←	→				
		←	→			
			←	→		
			←	→		
					←	→
		←	→			
2. 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（リモートセンシング班） ・ハビタットマップ作成 ・地形変化モニタリング ・砂浜再生評価 ・ツバル研究者の能力育成						
		←	→			
			←	→		
				←	→	
		←	→			
3. 海岸工学的なツバル海岸の浸食・堆積過程の解明（海岸工学班） ・沿岸流と砂の運搬過程解析 ・人工構築物の評価 ・運搬・堆積支援策とその評価 ・ツバル研究者の能力育成						
		←	→			
			←	→		
				←	→	
		←	→			
4. 有孔虫増殖の基礎的研究（有孔虫班） ・有孔虫の生活史解明 ・増殖最適条件の解明と評価 ・ツバル研究者の能力育成						
		←	→			
				←	→	
		←	→			

§3 プロジェクト実施体制・投入実績

3.1 実施体制

※注意 下表における「種別」欄の○印等は、各々、以下の通り。

○：研究代表者又は主たる共同研究者

＊：SATREPS 研究費(委託費も含む)により人件費を支出した者

(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 研究参加者

【日本側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	茅根 創	東京大学	教授	2008.10.1～2014.3.31
＊	細野 隆史	東京大学	特任研究員	2010.5.1～2014.3.31
＊	藤田 乃里	東京大学	研究補助員	2009.10.1～2014. 3.31
	井手 陽一	海洋プランニング株式会社九州支店	支店長	2009.4.1～2014. 3.31
＊	樹下 弥奈	海洋プランニング株式会社九州支店	技術員	2009.11.1～2014. 3.31
	山田 浩次	国土技術政策総合研究所	主任研究官	2009.4.1～2014. 3.31
＊	伊藤 理彩	東京大学	特任研究員	2011.10.1～2012. 10.31
＊	井上 志保理	東京大学	学生(M1)	2009.4.1～2010. 3.31

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	Mr. Mataio Tekinene	Department of Environment (環境局)	局長	2008.10.1～2014.3.31
	Mr. Semese Alefaio	Fisheries Department (水産局)	研究主任	2012.10.1～2014.3.31
	Mr. Paeniu Lopati	Fisheries Department (水産局)	調査ダイバー	2009.4.1～2014.3.31

② 研究項目

- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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 研究参加者

【日本側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	山野 博哉	国立環境研究所生物・生態系環境研究	室長	2009.4.1～2014.3.31

		センター生物多様性 保全計画研究室		
	石原 光則	国立環境研究所生 物・生態系環境研究 センター	特別研究員	2009.4.1～2012.3.31
	石黒 聡士	国立環境研究所生 物・生態系環境研究 センター	特別研究員	2013.4.1～2014.3.31

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	Mr. Mataio Tekinene	Department of Environment (環境局)	局長	2008.10.1～2014.3.31
	Mr. Fatasi Malologa	Department of Land and Survey (土地・測量局)	局長	2009.10.1～2014.3.31
	Mr. Ane Talia	Department of Land and Survey (土地・測量局)	Draft Man	2009.10.1～2014.3.31

②研究項目

- ・ 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。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。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 砂浜再生実験を評価する。
- ・ 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 研究参加者

【日本側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	横木 裕宗	茨城大学 工学部都 市システム工学科	教授	2009.4.1～2014.3.31
	桑原 祐史	茨城大学 広域水圏 環境科学教育研究セ ンター	准教授	2009.4.1～2014.3.31
	藤田 昌史	茨城大学工学部都市 システム工学科	准教授	2009.4.1～2014.3.31
*	佐藤 大作	東京電機大学 理工学部建築・都市 環境学系	助教	2009.12.1～2014.3.31

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	Mr. Mataio Tekinene	Department of Environment (環境局)	局長	2008.10.1～2014.3.31

	Mr. Fatasi Malologa	Department of Land and Survey (土地・測量局)	局長	2009.10.1～2014.3.31
	Mr. Ane Talia	Department of Land and Survey (土地・測量局)	Draft Man	2009.10.1～2014.3.31

②研究項目

- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 砂の運搬・堆積過程への人工構造物(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。
- ・ 砂浜再生に必要な支援策を定量的に見積もる。
- ・ 砂浜再生実験を評価する。
- ・ 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 研究参加者

【日本側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	藤田 和彦	琉球大学理学部 物質地球科学科	准教授	2009.4.1～2014.3.31
	村上 真智子	琉球大学理学部 物質地球科学科	技術補佐員	2012.10.1～2013.12.31

【相手国側】

種別	氏名	所属	役職	参加期間
○	Mr. Mataio Tekinene	Department of Environment (環境局)	局長	2008.10.1～2014.3.31
	Ms. Sioala Maula	Fisheries Department (水産局)	研究主任	2012.4.1～2014.3.31
	Mr. Paeniu Lopati	Fisheries Department (水産局)	調査ダイバー	2009.4.1～2014.3.31

②研究項目

- ・ 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。
- ・ 有孔虫による砂の生産速度を見積もる。
- ・ 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。
- ・ 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。
- ・ 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。

§ 4 プロジェクト実施内容及び成果

4.0 プロジェクト全体

(1) グループを統合した全体の成果

ツバル国土の形成・維持における、サンゴと有孔虫などの生態過程の重要性と、それが人間活動によって阻害されていることを、定量的に評価した。ツバル国土は、最初にサンゴ礁の基盤によって形成された。サンゴは現在も自然の防波堤として機能するとともに、国土を造る礫を生産している。高潮位以上の国土は、サンゴ礁上に打ち上げられたサンゴや有孔虫砂によって造られる。とくに有孔虫砂は、国土の半分から4分の3を構成する。主要な有孔虫は *Baculogypsina sphaerulata* で、その生息場は外洋側サンゴ礁礁原の平均海面から低潮位の間で、砂の生産量は最大 $1000\text{cm}^3/\text{m}^2/\text{年}$ に達する。有孔虫砂は、島と島間のチャンネルを通してラグーン側に運ばれ、ラグーン海岸沿いに沿岸流によって運搬される。運搬の方向はフォンガファレ島北部では北から南、南部では南から北である。漂砂ポテンシャルは、 $4000\text{--}8000\text{m}^3/\text{年}$ と見積もられる。南北からの漂砂によって、フォンガファレ島は過去 1800 年間に $500\text{m}^3/\text{年}$ の堆積速度で形成されてきた。

しかしながら、砂の生産―運搬―堆積過程は、フォンガファレ島の人口増加に伴う生態系の破壊と土地改変によって阻害されている。砂の生産は、島からの生活排水の流入によって水質が悪化して、フォンガファレ島沿岸では激減している。自然の防波堤としての機能が期待されるサンゴ礁も、死滅してしまった。外洋からラグーンへの有孔虫砂の最初の経路である島と島間のチャンネルは、コーズウェイによって閉鎖され、砂がラグーン側に供給されていない。ラグーン海岸沿いの漂砂経路は、栈橋によって止められ、浚渫航路によってラグーン底に失われている。砂の堆積も、直立護岸と海浜植生の喪失によって阻害されている。第二次大戦前にはフォンガファレラグーン側海岸は砂浜が縁取っていたが、それが現在ごくわずか残されているだけであることは、砂の生産―運搬―堆積過程がすべて阻害されてしまったためであると判断する。砂浜の形成は国土形成の現在の表れであり、海面上昇に対して国土の形成過程が働いていないことを示している。

海面上昇に対して、長期的に国土の形成・維持過程を再生するためには、阻害要因を取り除いて島がもっていた国土形成力を再生する必要がある。有孔虫砂とサンゴの生産を促進するためには、生活排水と廃棄物の処理によって水質を改善して、生態系を再生することが必須である。生産促進の支援技術として、有孔虫の増殖技術を本プロジェクトによって世界ではじめて確立した。砂の運搬経路の再生のためには、コーズウェイの開削、栈橋の撤去または杭栈橋への作り替え、浚渫航路の埋め戻しが有効である。海岸侵食対策として、直立護岸は砂の堆積を阻害するので、養浜が望ましい。また海浜植生の再生も有効である。こうした自然の島の形成・維持メカニズムに基づいた生態工学的方策は、それぞれに時間スケールと技術レベルが異なる。しかしながら、どれかひとつの技術だけで島の再生が進むものではない。総合的な海岸保全策、国土計画の中に、本成果を取り入れることが強く望まれる。どのような海岸構築物や海岸保全対策も、自然の島の形成過程を阻害するものでなく、それを促進するよう設計されなければならない。

また、本プロジェクトを進める中で構築された、有孔虫養殖、リモートセンシングとモニタリング、基盤地図の作成、地形調査などの技術は、海岸保全だけでなく、より広く国土計画に利用できる基礎技術として、カウンターパートに移転された。

本研究によって、ツバルの国土がサンゴと有孔虫という生物の殻でつくられている事実に基づいて、その生産―運搬―堆積が阻害されなければ、国土形成が維持されるということを定量的に示し、現地での理解を得ることができた。プロジェクト終了にあたって、砂浜の再生に向けて、時間スケールと技術レベルの異なる複数の生態工学的対策を提案した。これらの前提となるのは、サンゴ・有孔虫生態系の再生で、そのためには排水・ゴミ処理が必要である。有孔虫増殖技術は、重要な支援技術である。しかし、生態系再生ができなくとも、コーズウェイ外洋側には十分な有孔虫が生息しているので、コーズウェイを開削すれば、外洋からラグーンへの砂の供給が復活し、砂浜の再生がはじまることをシミュレーションと実験によって検証した。一方でラグーン側の突堤撤去とドレッジ埋め戻しは、コーズウェイ開削によって砂の供給が再生しなければ、十分な効果は得られない。養浜とサンドバイパスは、将来的に砂浜の再生が進んだ際にもコンフリクトしない短期的な対策として提

案した。

(2) 今後期待される効果

海岸保全対策における本プロジェクトの知見は、すでにツバル国における海岸保全事業に適用されている。本プロジェクト前期に並行して(やや先行して)行われた JPACE による「ツバル国におけるエコシステム評価及び海岸防護・再生計画調査」では、当初海岸防護策として、護岸、潜堤、養浜がオプションとして示されていた。これに対して、FSP と JPACE、ツバルとで持続的な海岸防護策について協議し、FSP 側から護岸では砂の生産が回復しても基部が侵食の場になって砂が堆積しないことを強く提言して、養浜の方向が定まった。なお、日本における礫養浜事業で「沿岸漂砂の阻害を考慮して断面を決めた」例はほとんどない。これは日本では波浪条件が厳しく漂砂の阻害が起りにくい場所が多いためである。あるいは、内湾でかつ礫が巨大で突堤もあるなど、沿岸漂砂を阻害しているような例は存在する(兵庫県東播磨海岸など)。この事例では、沿岸漂砂が期待できないとの判断である。逆に、FSP における「沿岸漂砂が期待できないと割り切るのではなく、将来の回復を考慮する」という発想は、総合土砂管理が成功して漂砂が回復する場合に備える意味でも、今後の海岸事業に必要な視点であり、先進的事例になり得る。

2007 年の IPCC AR4 で 18-59cm とされた今世紀末までの海面上昇予想は、2013 年の AR5 では 28-97cm に上方修正された。本研究では、コースウェイ開削や砂移動阻害要因の除去策がとられた場合 5 年間で、海岸方向延長 100m、砂厚最大 1 m の砂が堆積することをシミュレーションで示した。この速度は、海面上昇に十分追いついていくことができる。海面上昇に対する海岸防災のあり方について、中緯度先進国において、これまでの護岸や堤防など工学的な対策(グレイテクノロジー)から、養浜、湿地やカキ礁などを利用した生態系ベースのグリーンテクノロジーへの転換が始まっている(Temmerman et al., 2013, Nature 504, 79-83)。本プロジェクトは、熱帯島嶼国において、サンゴや有孔虫を活用したグリーンテクノロジーの先駆的な実践例である。本プロジェクトで得られた、環礁州島の形成過程とそれに基づく長期的な島の生態工学的維持の方策は、世界に 500 ほど分布する他の環礁、環礁国家(マーシャル諸島共和国、キリバス、モルジブなど)にも適用することができる。海岸・国土保全の施策のパッケージ、あるいは有孔虫養殖技術として、他の島嶼国にツバル発の技術として売り込むことができる。

海面上昇によって変化する環礁周辺の物理環境のなかで、島の維持・形成に影響を及ぼす主要な項目に沿岸部の波浪状況の変化が考えられる。本研究では、海面上昇後を想定した波浪場のシミュレーションを実施し、沿岸部での波高上昇を定量的に評価しており、地形的効果により局地的に波高上昇量の大きな地点が存在することが明らかとなった。ただし、これはサンゴ礁の上昇量を無視した結果であり、現実にはサンゴ礁も海面上昇に追随する形で上昇して行く。また、海面上昇は非常に緩やかな速度で生じるため、対策オプションを考える上での基礎となっている漂砂方向の急激な変化などが生じる可能性は低い。

本研究によって、ツバルの主要島海岸の水質が悪化しており、サンゴ礁生態系が壊滅しつつある現状が明らかになった。その結果はツバル政府に速やかに伝えられ、政府も問題を認識し、改善の努力をはじめている。水質改善のためには生活排水の処理が重要であるが、我々はそのための技術提案も行った。

4.1 ツバル海岸の生態的維持機構の解明(東京大学 地形・生態グループ)

(1) 研究実施内容及び成果

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トタイプを作成した。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、 $0.5\text{L}/\text{m}^2/\text{年}$ 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 1.2km)の有孔虫ハビタットの面積は 38000 m^2 であり、開削によってラグーン側に運搬される有孔虫砂は海岸工学班によって最大 $71.7(\pm 66.5\text{SD})\text{m}^3/\text{年}$ と見積もられた。有孔虫砂の生産を、フナフチ環礁で最大の $1\text{L}/\text{m}^2/\text{年}$ 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個体も観察された。適度な遮光が有孔虫のうちの *Amphistegina* 生育に適していることも明らかになった。

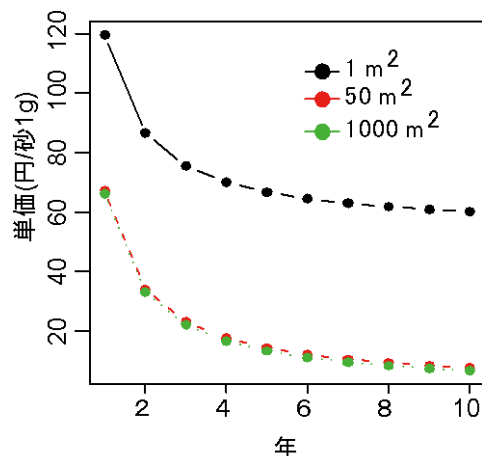
2011 年度には、有孔虫増殖のために有孔虫活性度判定技術および幼稚体のための飼育技術を開発した。活性度判定技術として有孔虫の一種ホシズナの共生藻がストレス条件下で光合成能力が低下することを明らかにし、光合成能力の低下がホシズナ体表面の色として定量的に評価できることを示した。幼稚体のために開発した飼育技術を用いる事でホシズナの生残率は 90%以上となり、対照群の生残率 59-70%と比較してかなり改善された。さらに、「ハビタットマップ」で有孔虫ハビタットとされたゾーンの、さらに詳細なマイクロハビタットの環境条件を調査し、実験水槽においてその最適条件の探索を開始した。また、砂浜再生を目的として環境が悪化した海岸に人工基質を設置したところ 2 ヶ月で個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 0.5mm^2 の集団が 1.7mm^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、平均海面を基準として $-80 - -20\text{ cm}$ の範囲を特に好むことを明らかにした。

2013 年度は有孔虫養殖にかかるコスト計算を行い、ツバル国での事業継続可能性を検討した。これまでに開発した二つの養殖手法を比較検討した。いずれの方法でも海水取得と攪乱装置稼働に要する必要な電気代がランニングコストの多くを占め、有孔虫砂 1cm^3 を作るのに必要なコストは $3.9-15.6\text{ AUD}$ と計算された。プロジェクトにおいて開発された養殖方法のうち、2012 年に開発された方法は、海面養殖への転用を目指した方法でもある。そ

ここで、ラグーン内において短期間の実証試験を行い、運用にかかるコストを試算した。その結果、海面養殖の場合は 0.4 AUD とランニングコストを大幅に縮小できる可能性が示された。ここで示したコストはあくまでも研究レベルのもので、初期投資して大規模に実用化に進めば、飼育密度の増加、飼育面積の拡大を図ることによって、コストは大幅に低減し、持続可能な砂生産が期待できる。

コスト削減の方策の 1 つには飼育密度を上げる方法がある。今回試みた飼育密度は fuakea 島の生息密度に準拠しているが、フォンガファレ島の causeway ではその倍の生息密度が確認されているので、飼育密度をそのレベルまで上げることが可能である。提案した養殖方法は飼育密度と飼育コストが独立な方法なので、飼育密度を高くするほど、飼育コストを下げることができる。もう 1 つは飼育面積を拡大する方法である。陸上型飼育では飼育面積の増大に比例して飼育コストが高くなり、コスト低減につながらないが、試験的に行った海面養殖方法では飼育面積拡大はコスト低下につながる（設備費と飼育コストが低いため）。現行の試験的・海面養殖型技術であっても、50m² 規模で飼育すれば砂生産のコストを大きく低下させることができる（初期投資含み 7 円/1g）。



ただし、この海面養殖におけるコスト見積もりは短期間の実施事例にもとづいているので、大規模・長期間で実施可能性検証試験を行うことが不可欠である。また本研究では、短期間の実証試験であるにもかかわらず持ち去りや流出が何度も生じたことから、ラグーンでの海面養殖には長期間の試験運用による様々なリスク（持ち去り、荒天による中断、維持メンテナンス）の定量化が不可欠であることも明らかとなった。

④カウンターパートへの技術移転の状況

有孔虫の分布とその季節的変化について、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月と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

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)研究成果の今後期待される効果

新たな科学的な試みとして有孔虫の人工養殖による砂生産に取り組んだ。水槽内において人工的に砂生産を行えることを確認でき、さらに、その方法の効率化によって、ある程度コストを抑えることも可能となった。しかし、事業期間において達成できたレベルが1cm³の砂に0.4AUDのランニングコストを要しており、これは自然の砂の価格(1t/200AUD)とは比較にならない。創出されたばかりの技術であり、コスト削減の可能性は非常に高いことから、低コストな方法の開発は十分に可能と考えられる。

この技術開発を通してカウンターパートが積極的に他の地域住民への説明を行うようになった。また、彼は開発期間中に自身の知識を用いて発明者となるなど成長が著しい。本事業終了後も継続して共同研究を行うことができれば、新たな技術開発が行われる可能性は高い。

有孔虫増殖による海岸保全は、今後、生態系活用海岸・国土保全(グリーンテクノロジー)の先駆的な実践例として、新しい分野の礎になる。

4.2 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(国立環境研究所生物・生態系環境研究センター リモートセンシンググループ)

(1)研究実施内容及び成果

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定点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。2013 年度においては、カタリーナランプに試験的に設置したカメラでデータが取得されていることを確認し、砂浜の季節的な移動を検出した。以上により、4.1①のうち、1), 2), 3), 5) を達成した。

④カウンターパートへの技術移転の状況

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い、取得データの提供を行った。

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

4.1①4) 砂浜再生実験の評価に関しては、砂浜再生実験が行われなかったため、有孔虫生息域(砂の生産域)の特定と面積算出を行った。

(2)研究成果の今後期待される効果

本プロジェクトで作成されたハビタットマップは、ツバル国のサンゴ礁資源、海岸環境や海岸保全に必要なサンゴや有孔虫の保全に活用することができる。近赤外線センサーを用いた海岸線の変化抽出や定点カメラによるモニタリングシステムは、サンゴ礁域全般に適用でき、島嶼国の温暖化影響等のモニタリングに応用することができる。

4.3 海岸工学的なツバル海岸の侵食・堆積過程の解明(茨城大学 海岸工学グループ)

(1)研究実施内容及び成果

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。

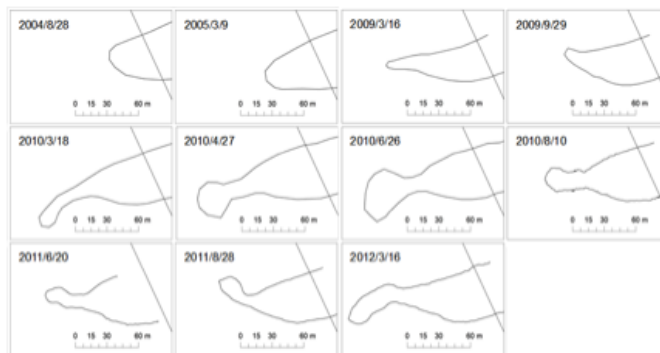
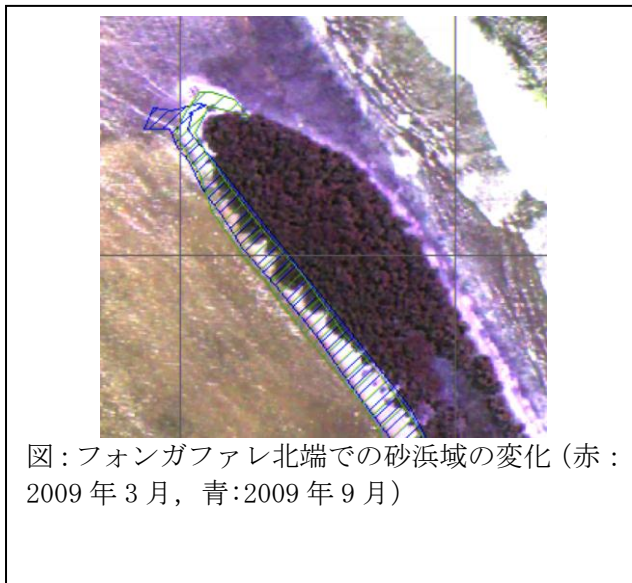
③当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

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。また、ラグーン海岸で汚濁の現況を調査したところ、高人口密度のAlapi海岸では、引き潮時に海水中の酸化還元電位が約-60mVまで低下するときがあり、最大で日本の環境基準の27倍の大腸菌が検出された。Fongafale島の約7割の住居はSeptic Tankを保有しているもののボトムレスで施工されていることがわかり、引き潮時に浸出する生活排水が主要な汚濁源であることがわかった。この地域の底質は自然地域に比べて約5倍の微生物含有量があり、汚濁が慢性化していることがわかった。

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。また、ラグーン海岸の重金属含有量を調査したところ、Alapi海岸では自然地域よりもCr, Zn, Cu, Pb, Cdの含有量が高く、著しい汚染状況にあると判定された。一方、北端のゴミ捨て場付近では電池に由来するMn, Niの汚染が見出された。有孔虫に対する水質影響は、古くから栄養塩類が着目されてきているが、本知見により重金属汚染も考慮する必要性が初めて示された。

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ところ、突端の舌状地



図：南端地形の変化動（佐藤ら，2012）

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パ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。

沿岸水質対策として、Septic tank（浄化槽）に侵入する海水を利用した排水処理手法を、室内実験によって検討した。海中には硫酸塩が豊富に含まれることから、硫酸還元反応などによって生活排水中の有機物を除去する方法である。既設の Septic tank 内の微生物を固定化することによって引き潮時の微生物流出を抑制すれば、Septic tank を活用して実効的な水質処理を行うことができる。

2013 年度は現地ラグーン沿岸の漂砂移動に関して、カラーサンドを用いた現地漂砂実験を実施すると共に、突堤やドレッジなど漂砂阻害要因の特定とその影響についての検討を行った。現地漂砂実験は 3 月末に実施した現地調査において、フォンガファレ島コースウェイのラグーン側におよそ 2t の青色カラーサンドを投入し、その砂の移動をモニタリングした。モニタリングは携帯型 GPS を用いて、投入したカラーサンドの堆積域の外周をデジタイズすると共に、沿岸域を踏査することで、砂粒が運ばれた領域を観察した。現地調査期間外には、カウンターパートに同様の測定を依頼し、投入したカラーサンドの継続的なモニタリングを実施した。図 1 はモニタリングより得られたカラーサンドの挙動を示している。図中ポリゴンで示されているのが堆積域であり、点で示されているのはカラーサンドが確認できた地点である。これより、コースウェイ周辺での漂砂移動速度は図に示した 2 期間の平均値より 4m/day と推測された。モニタリング期間の波高計による観測結果からは高波浪は生じていないことが確認されており、本実験で得られた結果は通常の波浪状況下での漂砂移動を捉えていると考えられる。南方への漂砂移動は数値計算より得られた知見と合致し、これらの漂砂が州島中央部の海岸地形に寄与していると考えられる。このため、この漂砂移動の阻害要因を除去すること、および減少している海岸植生や悪化する沿岸水質の状況改善を複合的に行うことが、漂砂環境の改善につながると考えられる。

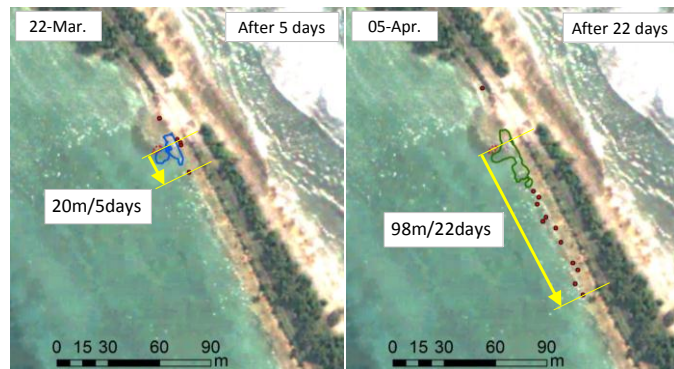


図 カラーサンドの計測結果

これまでの研究活動によって、フナフチ環礁フォンガファレ島における地形変化過程の詳細が現地観測により明らかとなった。また、海岸植生や沿岸水質などの周辺情報に関する知見と合わせ、適用可能な海岸保全対策が見出され、当初の目的を達成することができたと考える。

④カウンターパートへの技術移転の状況

簡易な測量調査や海岸域踏査を分担してもらった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。2013 年 3 月に行った現地漂砂実験では、実験準備から実施、その後のモニタリングまで積極的に参加し、現地スケールでの漂砂実験とモニタリング手法を実践的に移転することができた。調査隊が帰国後も継続的に投入砂のモニタリングが実施できていたことから、海岸工学的な現地実験・モニタリング手法の技術移転が上手く行われたと考えられる。

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特になし。

(2)研究成果の今後期待される効果

これまで継続的に海岸域の地形変化に関する測量を実施すると共に、フォンガファレ島を対象に開発した州島地形変化モデルを用いての海岸地形変化シミュレーションおよび劣化した漂砂状況の改善策の検討を進めてきた。これらの研究活動からフォンガファレ島沿岸の州島地形変化の特徴を明らかとすると共に、漂砂阻害要因の特定とコーズウェイ開削による漂砂移動の活性化の可能性を示すに至った。

得られた研究手法および知見は他の環礁に適用可能な部分が多く、環礁州島の海岸地形変化管理に適用されるなどの展開が期待される。また、継続的に計測されている海岸地形変化の情報がアーカイブされることは、海岸工学分野において重要な課題となっている海岸侵食問題において貴重な資料を提供することとなり、学術的な価値も高いと考えられる。現状では環礁州島における海岸地形変化のモニタリングが継続的に実施され、それらがアーカイブされている例は極端に少ない。本研究で実施した携帯型 GPS などを用いた簡易的な手法が広く実施されることが期待される。

4.4 有孔虫増殖の基礎的研究(琉球大学 有孔虫グループ)

(1)研究実施内容及び成果

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 m²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 m²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 m²あたり1000個体以下である。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 m²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。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 m²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(1m²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、今後コーズ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一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。

コーズ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、 1.4×10^6 個体/m²に達する。その後徐々に減少し、9月に最も低くなる(9.3×10^4 個体/m²)。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(有孔虫)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。

2013年度は、コーズウェイにおける*Baculogypsina sphaerulata*の個体群密度の4年間にわたる長期変動を明らかにした。その結果、雨季に増加し、乾季に減少するという周期的な変動を示した。この変動と環境要因の変動とを比較した結果、風向の季節変化に伴う波浪の強弱が関係することが明らかとなった。この研究成果はカウンターパートとの共同研究の成果である。また、これまでの研究成果の公表(論文投稿)を行った。

以上の研究により、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、その規定要因と年間生産量を明らかにするという当初の研究目標を達成した。

④カウンターパートへの技術移転の状況

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特になし。

(2)研究成果の今後期待される効果

ツバルでの研究成果を環礁州島におけるモデルとして、他の環礁島嶼国における有孔虫の分布とその規定要因、砂生産量の推定にも適用できるだろう。また、今後必要とされる環礁島嶼国における砂生産技術開発の基礎データになるとともに、環礁島嶼国における沿岸環境保全にもつながるだろう。

§ 5 成果発表等

(1)原著論文発表（国内(和文)誌14件、国際(欧文)誌11件）

- 1 桑原祐史, 横木裕宗, 佐藤大作, 山野博哉, 茅根創: ツバル国フナフチ環礁における沿岸域土地被覆変化の解析, 沿岸域学会誌, Vol.21, No.2, pp.21-32, 2008.
- 2 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).
- 3 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).
- 4 Ishihara, M., Oguma, H., Namizaki, N. and Yamano, H.: 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)
- 5 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)
- 6 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).
- 7 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).
- 8 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).
- 9 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).
- 10 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).
- 11 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).
- 12 Perry, C.T., Kench, P.S., Smithers, S.G., Riegl, B., Yamano, H., O'Leary, M.J.: Implications of reef ecosystem change for the stability and maintenance of coral reef islands. *Global Change Biology*, **17**, 3679-3696, (2011).
- 13 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).
- 14 桑原祐史・中野貴聡・江田雄樹・横木裕宗・藤田昌史・佐藤大作: 南太平洋島嶼国を対象とした国土の防護のための対策優先地区選定に用いる地理情報の高精度化, 土木学会論文集 G(環境), Vol.67, No.5, pp.I_239-I_246, (2011).
 - 15 Nakada, S., Umezawa, Y., Taniguchi, M., Yamano, H.: Groundwater dynamics of Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu. *Ground Water*, 50, 639-644, (2012).
 - 16 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).
 - 17 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).
 - 18 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.I_121-I_125, (2012).
 - 19 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.I_99-I_104, (2012).
 - 20 桑原祐史・横木裕宗: ツバル国フナフチ環礁を対象とした海岸植生の調査, 環境情報科学学術研究論文集, No.26, pp.375-380, (2012).
 - 21 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*, 8, 381-390, (2013).
 - 22 Fujita, M., Ide, Y., Sato, D., Kench, P. S., Kuwahara, Y., Yokoki, H., Kayanne, H.: Heavy metal contamination of coastal lagoon sediments: Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu, *Chemosphere*, 95, 628-634, (2014).
 - 23 Hosono, T., Lopati, P. and Kayanne, H.: Estimation of the growth pattern of *Baculogypsina sphaerulata* (Foraminifera) in a tropical environment using a floating chamber method. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 448: 156-161, (2013).
 - 24 Yamano, H., Cabioch, G., Chevillon, C., and Join, J.-L.: Late Holocene sea-level change and reef-island evolution in New Caledonia. *Geomorphology* (in press).
 - 25 藤田和彦: サンゴ礁海域に分布する大型底生有孔虫の生態. 日本サンゴ礁学会誌 (印刷中)
 - 26 Fujita, K., Okai, T., Hosono, T.: Oxygen metabolic responses of three species of large benthic foraminifers with algal symbionts to temperature stress. *Plos One*, 9, e90304 (2014).
 - 27 Hosono T, Lopati P, Makolo F, Kayanne H.: Mass culturing of living sands (*Baculogypsina sphaerulata*) to protect island coasts against sea-level rise. *Journal of Sea Research*, DOI: 10.1016/j.seares.2014.03.007, (2014).

(2) 研修コースや開発されたマニュアル等

① 研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数

- 1 2010 年10 月 生態・海岸調査研修, カウンターパート2名.
- 2 2011 年11 月 生態・海岸調査研修, カウンターパート2名.

② 開発したテキスト・マニュアル類

- 1 Foram Sand Project: Assessment Report Positive and Negative Impacts on the Lagoonal Coasts Induced by Open-cutting the Causeway in Fongafale Islet of Funafuti, Tuvalu. 42p (2011).
- 2 茅根 創 (SATREPS) 監修・井手陽一文・松舘文子絵: 笑顔の島の作り方 (日本語版), How to Make the Smiling Island (英語版), Faite Pefea Te Fenua Falamisikata (ツバル語版). 各 28p. (2012).

- 3 Kayanne, H., Yamano, H., Yokoki, H., Kuwahara, Y. and Sato, D.: Report on Map Project of Fongafale Island, Funafuti Atoll, Tuvalu. 19p., (2012).
- 4 Foram Sand Project: Map of Fongafale Island, (2012).
- 5 Fujita, K.: Lecture notes: ecology and importance of algal symbiont-bearing, reef Foraminifera. 30 p., (2012).
- 6 Hosono, T.: Manual of measurement of foraminifera: how to use Image J. 12 p., (2012).
- 7 Hosono, T.: How to study the effectiveness of artificial algae mats as habitat in the field. 7p. (2012).
- 8 Foram Sand Project: Policy Proposal for Eco-technological Management of Tuvalu against Sea Level Rise (to be submitted to Tuvalu government). (2014).
- 9 Foram Sand Project (Kayanne, H., Hosono, T. and Kawada, A. eds): Coastal Ecosystem in Tuvalu and Geo-ecological Management against Sea Level Rise. (2014).

(3)その他の著作物(総説、書籍など)

① 詳細情報

- 1 茅根 創：環礁州島の地形形成維持に関わる生態プロセス．水環境学会誌，33，245-248 (2010).
- 2 山野博哉：グローバル・ローカルな要因による小島嶼国の環境問題．水環境学会誌，33，234-238 (2010).
- 3 茅根 創：サンゴ礁・州島の生態工学的保全・創成-生物が造る島の生態工学的保全・創成技術-．土木技術，66 (11)，53-58 (2011).
- 4 茅根 創・加々美康彦：沖ノ鳥島の管理・利活用は国際公益の大義のもとに．港湾，89, July 14-15 (2012).
- 5 藤田和彦：有孔虫と微細藻の共生系-共生系を成立・崩壊させる環境要因．生物の科学 遺伝，66，391-397 (2012).
- 6 藤田和彦：星砂から地球環境問題を考える．琉球大学編，やわらかい南の学と思想 5，沖縄タイムス出版 214-227 (2013).
- 7 Yamano, H.: Multispectral application. In: Goodman, J.A., Purkis, S.J., and Phinn, S.R. (eds) Coral Reef Remote Sensing., Springer, 51-78 (2013).
- 8 茅根 創：海面上昇で沈むツバル．TUVU, No.40, 5-7 (2013).
- 9 茅根 創：海面上昇に対するツバル国土の生態工学的維持．TUVU, No.41, 1 -4 (2013).
- 10 山野博哉：サンゴ、サンゴ礁．地球温暖化の事典，丸善，東京 (in press).
- 11 山野博哉：小島嶼国．地球温暖化の事典，丸善，東京 (in press).
- 12 Ishihara, M., Hasegawa, H., Hayashi, S., and Yamano, H. Land cover classification using multi-temporal satellite images in a subtropical area. In: Nakano, S., Yahara, T., and Nakashizuka, T. (eds.) The biodiversity observation network in the Asia-Pacific region: Integrative observations and assessments of Asian biodiversity., Springer, (in press).

(4)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 4 件、国際会議 1 件)

- 1 Yamano, H.: Coral-reef observation from space: mapping, monitoring and management. The 28th International Symposium on Space Technology and Science, Okinawa, June 2011.
- 2 Kayanne, H.: Eco-technological management of atoll islands against sea level rise. 地球温暖化防止とサンゴ礁保全に関する国際会議-環境と共生した豊かな美ら海づくりをめざして．沖縄，2013 年6月．
- 3 山野博哉：サンゴ生態系と地形の気候変動影響と適応．地球温暖化防止とサンゴ礁保全に関する国際会議，沖縄県恩納村，2013 年 6 月．
- 4 山野博哉：サンゴ礁への気候変動の影響：地球温暖化と海洋酸性化．第 11 回環境研究シンポジウム，東京，2013 年 11 月．

- 5 山野博哉: 海の生物と気候変動: 地球温暖化と海洋酸性化. アジア規模での生物多様性観測・評価・予測に関する総合的研究公開講演会, 東京, 2013 年 1 月.

② 口頭発表 (国内会議 18 件、国際会議 2 件)

- 1 茅根 創 (東京大): 地球温暖化に対するサンゴ礁の応答. 日本サンゴ礁学会, 沖縄県本部, 2009 年 11 月.
- 2 石原光則, 小熊宏之, 浪崎直子, 山野博哉 (国立環境研): web カメラを用いた沿岸域モニタリング. 日本リモートセンシング学会第 48 回学術講演会, 茨城県つくば市, 2010 年 5 月.
- 3 茅根 創, 細井 豪, 中村修子, 佐野有司, 梅澤 有, 山野博哉: ツバル国フナフチ環礁フォンガファレ島における窒素負荷とサンゴ礁斃死. 日本サンゴ礁学会第 13 回大会, 茨城県つくば市, 2010 年 12 月.
- 4 藤田昌史, 大川和也, 佐藤大作, 桑原祐史, 横木裕宗, 茅根創: ツバル海域におけるし尿汚染の現状, 第 45 回日本水環境学会年会, 札幌, 2011 年 3 月
- 5 深山直子, 山野博哉 (2011) つくられた脆弱性 ツバル・フォンガファレ島における文理融合研究の試み. 日本文化人類学会大 45 回研究大会, 東京, 2011 年 6 月
- 6 井手陽一, 樹下弥奈, 細野隆史, 茅根 創: 砂の素を養殖する. 日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会, 千葉県柏市, 2011 年 10 月.
- 7 石原光則, 波利井佐紀, 茅根創, 本郷宙軌, 長谷川均, 山野博哉 (2011) 衛星画像を用いた長期的なサンゴ礁の底質分類の精度評価. 日本サンゴ礁学会第 14 回大会, 沖縄, 2011 年 11 月
- 8 石原光則, 波利井佐紀, 茅根創, 本郷宙軌, 長谷川均, 山野博哉 (2011) 衛星画像処理レベルの違いによるサンゴ礁の底質分類の精度評価. 日本リモートセンシング学会第 51 回学術講演会, 青森, 2011 年 11 月
- 9 Lopati, P., Poulasi, T., Hosono, T., Fujita, K., Ide, Y., Kayanne, H.: Population dynamics of *Baculogypsina sphaerulata* in Tuvalu and aquaculture experiment toward transplantation. 日本サンゴ礁学会第 14 回大会, 沖縄県那覇市, 2011 年 11 月.
- 10 細野隆史, 藤田和彦, 茅根 創: 体色からホシズナの内的状態を推定する. 日本サンゴ礁学会第 14 回大会, 沖縄県那覇市, 2011 年 11 月.
- 11 井上龍太郎, 藤田昌史: 海水を利用した生物学的排水処理の可能性, 第 46 回日本水環境学会年会, 東京, 2012 年 3 月
- 12 Hosono, T., Lopati, P., Fujita, K., Ide, Y., Kayanne, H., 2012. Development of aquaculture techniques to promote sand production by large benthic foraminifers (*Baculogypsina sphaerulata*) 12th International Coral Reef Symposium, Cairns, Australia, July 2012.
- 13 細野隆史, Lopati, P., 藤田和彦, 茅根創, ツバル国フナフチ環礁における大型底生有孔虫ホシズナの個体群構造と季節風の関係, 2012 年度日本プランクトン学会・日本ベントス学会合同大会, 千葉県船橋市, 東邦大学, 2012 年 10 月
- 14 井上龍太郎, 新田見匡, 藤田昌史 海水を利用した生活排水処理を担う活性汚泥の 16S rDNA 解析 第 47 回日本水環境学会年会, 大阪, 2013 年 3 月
- 15 Fujita, M., Inoue, R., Suzuki, J., Nittami, T.: Possibility of biological wastewater treatment using seawater, IWA-ASPIRE Regional Conference and Exhibition, oral-10F2-5, Daejeon, Korea, October 2013.
- 16 藤田昌史, 王峰宇, 鈴木準平, 横木裕宗, 茅根創: Tuvalu 国 Fongafale 島海岸の人為汚染の現状, 第 50 回土木学会環境工学研究フォーラム, 56-58, 札幌, 2013 年 11 月.
- 17 井上龍太郎, 新田見匡, 藤田昌史: 海水を利用した生物学的有機物除去法の検討, 第 50 回土木学会環境工学研究フォーラム, 95-97, 札幌, 2013 年 11 月.
- 18 王峰宇, 井上龍太郎, 石渡恭之, 藤田昌史: 海水を利用した生物学的排水処理法における重金属の挙動, 第 48 回日本水環境学会年会, 仙台, 2014 年 3 月 (発表予定)
- 19 井上龍太郎, 吉田征史, 新田見匡, 藤田昌史: 海水を利用した生物学的排水処理における発電能力の検討, 第 48 回日本水環境学会年会, 仙台, 2014 年 3 月 (発表予定)

- 20 藤田昌史, 鈴木準平, 今村正裕, 細野隆史, 藤田和彦, 横木裕宗: Tuvalu 国 Funafuti 環礁に生息する底生有孔虫の抗酸化力評価, 第 48 回日本水環境学会年会, 仙台, 2014 年 3 月 (発表予定)

③ ポスター発表 (国内会議 11 件、国際会議 3 件)

- 1 青木健次, 中村修子, 茅根 創(東京大・理), 福島朋彦(東京大・新領域), 磯部雅彦(東京大): 那覇沖チービシ, ルカン礁と, 西表島バラス島における州島形成要因. 日本サンゴ礁学会, 沖縄県本部, 2009 年 11 月.
- 2 細井 豪, 中村修子, 茅根 創(東京大・理), 山野博哉(国立環境研), 高畑直人, 佐野有司(東京大・海洋研): ツバルにおけるハマサンゴ年輪の $\delta^{15}\text{N}$ 変動と人為影響. 日本サンゴ礁学会, 沖縄県本部, 2009 年 11 月.
- 3 Ishihara, M., Oguma, H., Namizaki, N., and Yamano, H., (NIES): Evaluation of the feasibility of web cameras to monitor coastal areas. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Technical Commission VIII Symposium, Kyoto, August 2010.
- 4 Taniguchi M., Nakada S., Umezawa Y., Yamano H. (2010) Sustainable use of groundwater in Atoll Islands. AGU 2010 Fall Meet., San Francisco, USA, December 2010
- 5 藤田和彦(琉球大・理), 井手陽一(海洋プランニング), 井上志保里(東京大・理), 梅澤 有(長崎大・水産), 長嶺早恵(琉球大・理), 茅根 創(東京大・理), 山野博哉(国立環境研): サンゴ礁棲有孔虫の生態分布への人為的影響: ツバル・フナフチ環礁フォンガファレ島の例. 日本サンゴ礁学会, 茨城県つくば市, 2010 年 12 月.
- 6 梅澤有, 中田聡史, 谷口真人, 利部慎, 浅井和由, Wolf G., Koepke G., 山野博哉: 環礁州島における地下水滞留時間の推定. 日本サンゴ礁学会 第 13 回大会, 茨城県つくば市, 2010 年 12 月
- 7 中田聡史, 梅澤有, 山野博哉, 谷口真人: 環礁洲島における地下水塩水化. 日本サンゴ礁学会 第 13 回大会, 茨城県つくば市, 2010 年 12 月
- 8 石原光則, 波利井佐紀, 茅根創, 本郷宙軌, 長谷川均, 山野博哉: 衛星画像によるサンゴ群集被度変化の検出. Japan Geoscience Union Meeting 2011, Abstracts of Japan Geoscience Union meeting 2011, Chiba, May 2011
- 9 Talia A., Sato D., Yokoki H., Yamano H., and Kayanne H.: Monitoring changes in sandy beach along lagoonal coast of Fongafale Island, Tuvalu. The Japanese Coral Reef Society, 14th Annual Conference, Okinawa, November 2011
- 10 細野隆史, Lopati, P., 桑原祐史, 井手陽一, 茅根創, : Nursery ground を探せ! - 微小地形に対応したホンズナの分布様式 -, 日本サンゴ礁学会, 東京大学, 東京, 2012 年 11 月
- 11 藤田和彦, 乙丸真希, Lopati, P., 細野隆史, 井手陽一, 茅根創: ツバル・フォンガファレ島サンゴ礁における有孔虫 *Baculogypsina sphaerulata* の生活史と生産量, 日本サンゴ礁学会, 東京大学, 東京, 2012 年 11 月
- 12 Kayanne, H.: Eco-technological management of Tuvalu against sea level rise. AGU2012 Fall meeting, San Francisco, December 2012.
- 13 Sato, D., Yokoki, H., Kuwahara, Y., Yamano, H., Kayanne, H., Okajima, H., and Kawamiya, M.: Wave height situation estimated by the latest climate scenario around Funafuti Atoll, Tuvalu. AGU2012 Fall meeting, San Francisco, December 2012.
- 14 中村修子, 細井豪, 茅根創, 山野博哉: ツバル フォンガファレ島のハマサンゴ年輪に見られる近年の黒色汚染. 日本サンゴ礁学会第 16 回大会, OIST, 沖縄県恩納村, 2013 年 12 月.

(5) 知財出願

① 国内出願 (2 件)

- 1 発明者: 細野隆史・茅根創・井手陽一・パイニユウ ロパティ, 出願人: 国立大学法人東京大学, 海洋プランニング株式会社: 有孔虫類の増養殖装置及び生産方法 (特願 2013-49062)

2 発明者:藤田昌史, 横木裕宗, 桑原祐史, 佐藤大作, 出願人:国立大学法人茨城大学:海水を利用した下排水処理方法(特願 2012-244045)

② 海外出願 (0 件)

該当なし

③ その他の知的財産権

該当なし

(6)受賞・報道等

① 受賞

- 1 日本沿岸域学会論文賞「ツバル国フナフチ環礁における沿岸域土地被覆変化の解析」
- 2 桑原祐史・横木裕宗・佐藤大作・山野博哉・茅根 創, 2009 年 7 月 17 日

① マスコミ(新聞・TV等)報道

新聞報道

- 1 2009 年 5 月 22 日 NHK 総合 ニュースウォッチ 9 「海面上昇のツバル・ゴミ問題も深刻」
- 2 2009 年 6 月 18 日 NHK BS1 今日の世界「グリーン・アース: ゴミがサンゴ礁の島を破壊する」
- 3 2009 年 8 月 23 日 日本経済新聞「沖ノ鳥島 “星の砂” で守る」
- 4 2009 年 10 月 17 日 The Economist, Japan's eco-diplomacy. Starry-eyed. "Soft power" built on sand".
http://www.economist.com/world/asia/displaystory.cfm?story_id=14664623
- 5 2009 年 12 月 16 日 読売新聞夕刊「温暖化って! ? 星の砂」
- 6 2009 年 12 月 17 日 京都新聞「ツバルと「水没報道」」
- 7 2010 年 8 月 CBC ラジオ 気分爽快! 多田しげおの朝からPON「水没する島“星の砂”で守る」
- 8 2010 年 9 月 TURAGA, Fiji: "Sea level rise in the Pacific in an alarming state JICA, JST, SATREPS to help Tuvalu."
- 9 2010 年 9 月 朝日新聞「星砂育て 陸こなれ」
- 10 2010 年 9 月 朝日小学生新聞「水没する島「星砂」で救え」
- 11 2010 年 10 月 NHK ラジオあさいちばん エコトピックス「生物の力で島を水没から守れ!」
- 12 2010 年 11 月 NHK World (Radio Japan) "Saving a small-island nation with the aid of "star sand"
- 13 2010 年 11 月 Tiwan Panorama: "Tuvalu: King-hit by the Tides"
- 14 2010 年 12 月 ジュニアアエラ「星砂よ, 陸こなれ」
- 15 2011 年 2 月 グリーン・パワー「南の島の水没、「星砂」が救う?」
- 16 2011 年 2-3 月 Science Window 人と大地「ツバル/フナフチ環礁」
- 17 2012 年 9 月 7 日 週刊ポスト「サンゴで沖ノ鳥島を水没から救う」
- 18 2013 年 2 月 18 日 読売新聞「沖ノ鳥島サンゴ 93 種類」
- 19 2013 年 2 月 26 日 毎日新聞「沖ノ鳥島のサンゴ 孤立し貴重な生態系」
- 20 2013 年 3 月 17 日 日本経済新聞「サンゴが守る経済水域」

② その他

一般講演

- 1 2009 年 7 月 茅根 創「水没の危機にある沖ノ鳥島の維持」 海洋アライアンスシンポジウム第 4 回東京大学の海研究「海の現在と明日」
- 2 2010 年 3 月 茅根 創「ツバルの真実, Climategate 事件とは何か」 第 2 回トラ

ンスサイエンス研究会

- 3 2010 年 12 月 茅根 創「太平洋島嶼国における海面上昇への対応-ツバルにおける生態工学的対策-、島と海公開シンポジウム、海洋政策研究財団.
- 4 2011 年 5 月 茅根 創「海面上昇に対するツバルの生態工学的維持」Pacific Islands Club・社団法人太平洋諸島地域研究所共催 研究大会
- 5 2011 年 10 月 茅根 創・細野隆史・井手陽一「地球のために、未来のために〜ツバル、南アフリカ、ブータンの空・海・大地の変動に対峙して〜」、独立行政法人科学技術振興機構(JST)、世界銀行情報センター(PIC 東京)共催写真パネル展&コーヒアワー.
- 6 2011 年 10 月 茅根 創 茅根 創, 2011/10,「サンゴ礁・州島の生態工学的保全・創成」平成 23 年度第 3 回みなと総研フォーラム(日本消防会館).
- 7 2011 年 10 月 茅根 創・細野隆史・井手陽一グローバルフェスタ JAPAN2011「絆〜私たちはつながっている 世界は日本とともに. 日本は世界とともに」
- 8 2012 年 5 月 茅根 創「星砂でツバルを海面上昇から救え」社団法人大阪南太平洋協会 第 31 回定期総会&特別記念講演会
- 9 2012 年 5 月 茅根 創「海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持-復元力の大きな島の再生に向けて」第 6 回太平洋・島サミット記念事業: JICA による協力紹介連続セミナー第 2 回.
- 10 2012 年 12 月 茅根 創「海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持-星砂がツバルを救う-」 明治大学リバティアカデミー教養・文化講座
- 11 2013 年 2 月 「サンゴ礁州島の生態工学的保全・形成技術の開発を目指して」鹿島技術研究所コア技術フォーラム「沖ノ鳥島の将来と技術開発」

スタディツアー・巡検

- 1 2012 年 3 月 ツバルスタディツアー
- 2 2013 年 8 月 東京大学理学部地球惑星環境学科野外巡検 II

(7)成果展開事例

①実用化に向けての展開

成果を海岸・国土保全のための具体的な政策提言としてまとめ、ツバル国政府に手交した。島の半分から 3 分の 2 が有孔虫砂できており、現在の有孔虫の生産速度と、島が過去 2000 年間につくられたという事実が、整合的であることから、増殖技術の導入と増殖しやすい環境場(ハビタット)の創成と、つくられた砂の運搬・堆積プロセスの整備によって、島をつくり続けることは可能であることを定量的に示した。また、本プロジェクトで用いた、養殖、リモートセンシング、GIS、地図作成、地形調査技術をすべて現地に移転し、現地での自立的な展開を促した。

海岸保全対策における本プロジェクトの知見は、すでにツバル国における海岸保全事業に適用されている。本プロジェクト前期に並行して(やや先行して)行われた JPACE による「ツバル国におけるエコシステム評価及び海岸防護・再生計画調査」では、当初海岸防護策として、護岸、潜堤、養浜がオプションとして示されていた。これに対して、FSP と JPACE、ツバルとで持続的な海岸防護策について協議し、FSP 側から護岸では砂の生産が回復しても基部が侵食の場になって砂が堆積しないことを強く提言して、養浜の方向が定まった。しかし、本プロジェクトは、事業ではなく研究である。当初計画も、砂浜がつくことを「実証する」のではなく、「シミュレーションと現場実験によって検証する」ことであった。研究として、コーズウェイ開削や突堤撤去やドレッジ埋戻しの効果をシミュレーションし、その結果を置砂の現場実験によって検証した。実際に砂の移動・堆積を実証するためには、コーズウェイの開削が有効であり、そのためにはより詳細な検討とパイロット的な開削も必要である。開削事業の実施は、本課題の目的ではないが、その効果をネガティブな要因も含めて検討し、実施に向けて様々なドナーに働きかけも行った。

サンゴと有孔虫による島の創成については、国土交通省の沖ノ鳥島をターゲットとした

海岸保全技術に取り入れられ、実証研究がはじまっている。プロジェクトとしても、この課題の終了を活動の終了とはせず、今回明らかになった技術を発展させ、継続的にツバルを支援するとともに、より一般的に環礁の問題を解決するために、いくつかのプロジェクトを立ち上げている。具体的には、環境省の島国丸ごと支援の一環として、2014年度の環境省事業として「サンゴ礁生態系機能の保全・再生に基づくツバル国の温暖化適応」を提案中である。また、総合地球環境学研究所との連携プロジェクトのフィージビリティスタディ「地球環境変化に対する環礁国の地生態学的維持」が採択され、立ち上げ準備中である。ツバル国に対しては、引き続き水質浄化を軸に、次期 SATREPS への提案を準備中である。

<公開可能なもの>

① 社会実装(研究成果の社会還元)への展開活動

- ・ 砂浜の再生に向けて、時間スケールと技術レベルの異なる複数の生態工学的対策を提案した。
- ・ 短期的な海岸防護策として、長期的な砂浜再生とコンフリクトしない、養浜を実施する決定に科学面から寄与した。
- ・ 学部卒レベルだった相手国のカウンターパートが、共同研究と能力養成によって、学会発表、論文発表をする研究能力を取得するに至った。
- ・ さらに、カウンターパートの1名は、ツバル国ではじめての特許出願の発明者となった。
- ・ NAPA によって、本プロジェクトとそれまでに得られた成果をまとめ、ツバル国土の基盤地図(地形図、ハビタット図、ハザードマップ)を作成し、現地で修正、改版できる技術とともに移転した。
- ・ ツバル国の一般向けに度々ワークショップ、レクチャーを行うとともに、英語の解説やツバル語の絵本を作成して、島が生物の力でつくられていることを丁寧に説明した。
- ・ 地球環境問題に関心を持つ我が国の一般のために、講演会、ワークショップ、メディアへの発信を度々行った。
- ・ JST「A-STEP(FSステージ、探索タイプ)」事業に採択され、現在実施中。課題名「海産石灰化生物の人工培養による砂生産と、培養における低コスト化の実現」(H24)。
- ・

§ 6 プロジェクト期間中の主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所 (開催国)	参加人数	概要
2009.03.03	国内会合	東京大	20名	これまでの経緯と準備状況をまとめ、3月のツバル調査の打合せを行った。
2009.03.11	カウンターパート会合	ツバル政府 庁舎	10名	カウンターパートと今後の協力について相談し、MoUを交わした。
2009.03.09～ 16	調査団会合	ホテルロビー	20名	調査団内で毎日まとめと計画を打ち合わせた。
2009.05.09.	国内会合	東京大	25名	3月ツバル調査のまとめと今後の方針策定
2009.07.16	JICA会合	JICA	25名	開発調査との顔合わせ。今後の協力について相談。

2009.07.18	国内会合	東京大	15 名	研究の進捗状況報告
2009.09.09	国内会合	東京大	25 名	9月ツバル調査打合せ
2009.09.21	フィジー会合	JICAフィジ ー事務所	10 名	9月ツバル調査対処方針打 合せ.
2009.09.23	PCC	ツバル政府 庁舎	35 名	科学技術と開発調査の現地 への紹介と意見聴取.
2009.09.22 ～ 10.05	調査団会合	ホテルロビ ー	20 名	調査団内で毎日まとめと計 画を打ち合わせた.
2009.12.18	国内会合	東京大	30 名	9月ツバル調査結果まとめ, 懸案整理, 今後の方針(開 発調査と合同).
2010. 03.15	国内会合	東京大	15 名	3 月ツバル調査に向けた打 合せ(対策工検討)、今後の 方針(開発調査と合同)
2010.03.29	フィジー会合	JICA フィジ ー事務所	10 名	3 月ツバル調査対処方針打 合せ
2010.03.31	PCC	ツバル政府 庁舎	40 名	SATREPS と開発調査の実 施状況等の報告・意見徴収
2010.03.31 ～ 04.07	調査団会合	ホテルロビ ー	10 名	調査団内で毎日まとめと計 画を打ち合わせた.
2010.05.14	国内会合	東京大	20 名	有孔虫班打合せ
2010.06.02	国内会合	東京大	20 名	SATREPS と開発調査の実 施状況等の報告・意見徴収
2010.06.16 ～ 19	国内会合	琉球大・海 洋プランニ ング	5 名	有孔虫増殖試験について研 究現場の視察と議論
2010.06.30	国内会合	JICA	20 名	SATREPS と開発調査の実 施状況等の報告・意見徴収
2010.07.23	国内支援委員会	JICA	20 名	開発調査の実施状況等の 報告・意見徴収
2010.08.11	PCC	ツバル政府 庁舎	40 名	SATREPS と開発調査の実 施状況等の報告・意見徴収
2010.08.06 ～ 11	調査団会合	ホテルロビ ー	15 名	調査団内で毎日まとめと計 画を打ち合わせた.
2010.08.13	フィジー会合	JICA フィジ ー事務所	10 名	8 月ツバル調査成果と今後 の対処方針打合せ
2010.08.13	講義	フィジーUSP	10 名+サ テライト	「海面上昇に対するツバル 国の生態工学的維持」
2010.10.29	カウンターパート研修成 果報告会	東京大	30 名	カウンターパート研修の成 果報告と今後の打合せ.
2010.12.10	中間報告会	JICA	20 名	SATREPS 成果の中間報 告・助言
2010.12.20	国内会合	東京大	5 名	水質緊急調査打合せ

2011.02.18 ～ 19	国内会合	海洋プランニング	8 名	増殖水槽打合せ
2011.03.23	PCC	ツバル政府庁舎	40 名	SATREPS と開発調査の実施状況等の報告・意見徴収
2011.03.24	フィジー会合	JICA フィジー事務所	10 名	3 月 PCC と今後の対処方針打合せ
2011.05.05	気候変動政策会議	ツバル政府庁舎会議室	43名	海岸防護について、政府関係者への説明
2011.06.03	国内会合	東京大	16 名	3 月ツバル調査結果まとめ、懸案整理、今後の方針打合せ.
2011.08.15	対処方針会議	JICA	10 名（研究員4名）	SATREPS 成果の中間報告についての対処方針会議
2011.08.22	フィジー会合	JICA フィジー事務所	10名	8月 PCC と今後の対処方針打合せ
2011.08.23 ～ 31	調査団会合	ホテルロビー	15 名（2 名）	調査団内で毎日まとめと計画を打ち合わせた.
2011.08.29	PCC	ツバル政府庁舎	30名	SATREPS と開発調査の実施状況等の報告・意見徴収
2011.09.16	帰国報告会（JST 評価会）	JICA	10 名（研究員5名）	SATREPS 成果の中間報告・助言
2011.11.14	カウンターパート研修成果報告会	東京大	30名	カウンターパート研修の成果報告と今後の打合せ
2011.12.26	国内会合	東京大	9名	SATREPS と開発調査の実施状況等の報告・意見徴収
2012.02.24	ツバル外務省内向けプロジェクト説明会	ツバル政府庁舎内外務省会議室	15 名	調査プロジェクトの進捗状況に関する報告・説明
2012.03.19	フィジー会合	JICA フィジー事務所	7 名	3 月 PCC と今後の対処方針打合せ
2012.03.20 ～ 27	調査団会合	ホテルロビー	7 名	調査団内で毎日まとめと計画を打ち合わせた.
2012.03.21	PCC	バイアク・ランギ・ホテル内	24 名	SATREPS と開発調査の実施状況等の報告・意見徴収
2012.04.16	国内会合	東京大	10名	地図作成委託業者との打合せ
2012.05.16	第6回太平洋・島サミット記念事業：JICA による協力紹介連続セミナー	JICA 地球ひろば1階市民のひろば	50名	プロジェクトの紹介
2012.05.19	太平洋・島サミット記念事業「ASPA 特別記念講演会」	ドーンセンター大会議室 大阪	50 名	講演会「星砂でツバルを海面上昇から救え」
2012.09.24	NAPA map 説明会	ツバル	8名	横木先生より NAPA map 説明会

2012.12.25	国内会合	東京大	13名	研究進捗状況と来年度の方針、3月調査打合せ
2013.02.25	進捗報告会	JST	13名	SATREPS 研究進捗状況報告・助言
2013.03.12 ～ 19	調査団会合	ホテルロビー	7 名	調査団内で毎日まとめと計画を打ち合わせた。
2013.03.13	PCC	バイアク・ランギ・ホテル内	28名	SATREPS の活動進捗報告および最終年度活動計画
2013.03.13	NAPA map 報告会	バイアク・ランギ・ホテル内	23名	NAPA map の報告
2013.03.13	NAPA map 報告会	土地・測量局事務所	3名	NAPA map の使用に関する専門的技術指導
2013.03.18	講義	ツバル高校	150 名	「海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持」紹介
2013.03.20	講義	USP(フィジー)	30 名	「海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持」紹介
2013.05.04	絵本読書会&有孔虫観察	フナフチ図書館	30 名	プロジェクト作成「笑顔の島の作り方」読書会。顕微鏡をセットし有孔虫観察
2013.05.22	Biological Diversity Day "Water & Biodiversity	Vaiaku 集会場	80 名	環境局主催ワークショップに参加。各島のユースグループが「水と生物多様性」をテーマにディベート。顕微鏡をセットし有孔虫観察
213.06.16-21	World Environment Day workshop	Pelesepa 集会場	440 名	環境局主催ワークショップに参加。ワークショップ期間中会場にてプロジェクトパネル展示
213.06.19	World Environment Day workshop	水産局水槽施設	100 名	環境局主催ワークショップに参加。プロジェクト活動、島の構成とサンゴ・有孔虫の重要性、有孔虫養殖実験説明
213.06.21	World Environment Day workshop	Namumanga 集会場	80 名	環境局主催ワークショップに参加。島の成り立ち(有孔虫、サンゴの重要性)の説明、顕微鏡をセットして有孔虫観察。
2013.08.03	研究会合	東京大	10 名	研究進捗状況と8月調査打合せ、終了評価対処方針
2013.08.26	フィジー会合	JICA フィジー事務所	15 名	8月 PCC と今後の対処方針打合せ
2013.08.27 日 ～09.02	調査団会合	バイアク・ランギ・ホテル内	10 名	調査団内で毎日まとめと計画を打ち合わせた。

2013.08.29	PCC	ツバル電気 通信株式会 社会議室	24名	SATREPS のプロジェクト活 動進捗および最終プロポー ザル案報告
2013.11.11	研究進捗報告会	JST	3名	SATREPS 研究進捗状況報 告・助言
2014.01.25	研究会合	東京大	15 名	研究進捗状況報告、終了評 価対処打ち合わせ
2014.02.20	終了時評価対処会議	JICA	10 名	SATREPS 研究成果報告・終 了時評価対処方針
2014.03.05	PCC	バイアク・ラ ンギ・ホテル 内	13 名	プロジェクト活動最終報告、 政策提言説明
2014.03.11	PCC	バイアク・ラ ンギ・ホテル 内	15 名	終了時評価報告
2014.03.20	「生物多様性・生態系 保全」ワークショップ	Tufha Conference Room	25 名	啓蒙パンフレット概要説 明
2014.04.03	帰国最終報告会	JICA	12 名	SATREPS 最終研究成果報 告

② 合同調整委員会開催記録

年月日	出席者	議題	概要
2009.03.03	25 名	JICA会合	開発調査との顔合わせ、今 後の協力について相談
2009.09.23	35 名	P C C	SATREPS と開発調査の現地 への紹介と意見聴取
2010.06.30	20 名	JICA会合	SATREPS と開発調査の実 施状況等の報告・意見徴収
2010.07.23	20 名	国内支援委員会	開発調査の実施状況等の 報告・意見徴収
2010.08.11	40 名	P C C	SATREPS と開発調査の実 施状況等の報告・意見徴収
2010.12.10	20 名	中間報告会	SATREPS 成果の中間報 告・助言
2011.03.23	40 名	P C C	SATREPS と開発調査の実 施状況等の報告・意見徴収
2011.08.29	30 名	P C C	SATREPS と開発調査の実 施状況等の報告・意見徴収
2011.09.16	10 名	帰国報告会(JST 評価会)	SATREPS 成果の中間報 告・助言
2012.03.21	24 名	P C C	SATREPS と開発調査の実 施状況等の報告・意見徴収

2013.03.22	13 名	進捗報告会	SATREPS 研究進捗状況報告・助言
2013.03.13	28 名	P C C	SATREPS の活動進捗報告および最終年度活動計画
2013.08.29	24 名	P C C	SATREPS のプロジェクト活動進捗および最終プロポーザル案報告
2013.11.11	3 名	進捗報告会	SATREPS 研究進捗状況報告・助言
2014.02.20	10 名	終了時評価対処会議	SATREPS 研究成果報告・終了時評価対処方針
2014.03.05	13 名	PCC	プロジェクト活動最終報告、政策提言説明
2014.03.11	15 名	PCC	終了時評価報告
2014.04.03	12名	帰国最終報告会	SATREPS 最終研究成果報告(JICA)
2014.04.24		終了時評価会	SATREPS 終了時評価会(JST)

§ 7国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など

(1)共同研究全体

- ・ プロジェクト全体の現状と課題、相手国側研究機関の状況と問題点、プロジェクト関連分野の現状と課題。

SATREPS は、2 国間対等の科学技術協力が原則であるの対して、本課題は相手国（ツバル）側にほとんど研究能力がない中で立ち上げられた。これは、2006 年 12 月に、日本の福田首相（当時）がツバルのイエレミア首相と会談し、海面上昇によって水没の危機にあるツバル国の国土保全と気候変動対策を我が国が責任を持って進めることを「約束した」ことが契機となって立ち上げられたものである。それを受けて 2007 年 1 月に鴨下環境大臣がツバルを訪問し、これに基づいて短期的な対策として開発調査が立ち上げられた。しかし、それまでの我々の研究によって、環礁国家の問題を海面上昇による水没という単純化した図式でとらえ、護岸などの対症療法で対応することが、かえって長期的に問題であるという視点から、長期的な国土維持策と海岸・国土保全の科学的知見の充実とツバル国の能力開発として本プロジェクトが、より短期的な対策として海岸浸食対策のための開発調査の両輪として立ち上げられた。こうした背景から、本プロジェクトは、開発調査による対策事業と両輪で進めるという課題と、本来両国の同等の協力によって進めるべき研究開発が相手国側に研究者がほとんどいない状況で進めなければならないという課題があった。こうした政策的な課題に応えるかたちで本課題は SATREPS としては異例な相手国に研究能力がない中で立ち上げられたと理解している。その後も、2011 年には緒方 JICA 理事長が太平洋島嶼としてははじめてツバルを訪問、2013 年 9 月には石原環境大臣が視察に訪れるなど、我が国政府としてツバル支援の姿勢は崩れていない。

こうした背景の中で、大学学部卒レベル以下だった現場のカウンターパートを、丁寧に育成して、学会発表、論文共著、ツバルで初の特許共同発明者になり、技術部門のリーダーに育成することができました。カウンターパートの人数は少ないが、彼らが現場の指導的な立場に立っていることを考えると、能力養成の効果は高い。また、移転した技術を自分達の業務にも利用しており、部署内の専門的な技術能力の向上につながるとともに、移

転技術が部署内に波及することも期待できる。さらに、PCCだけでなく、長老会や女性グループ、ラジオを通じて一般、小中校生への講義、パンフレット、絵本、解説書の作成によって、島が生物でできているという基本認識をツバル政府はもとより、国民にも普及する努力を続けてきた。こうした点から、技術的にはツバルへの移転は十分に行われたと判断している。

一方で、ツバルの国家運営が支援頼みで、財政基盤がぜい弱であるという背景は変わっておらず、開発・移転された技術を、実際の政策として実行するためには、ツバル側の財政・政治的な対応能力は不十分で、引き続き我が国政府の支援が必要と考える。

本プロジェクトは、開発調査とは相補的になり、決してコンフリクトしないように、進めなければならない。本来ならば、科学技術による成果が得られた後に、その知見に基づいて開発調査による対策を立てるべきであるが、開発調査は緊急に対策が必要な事項を対象としているために、両者を同時に進めなければならない。ツバル国の人材育成については、共同研究を通じてカウンターパートの能力を高め、自立的な研究者として養成する必要がある。

- ・ 各種課題を踏まえ、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・自立発展性・インパクトを高めるために実際に行った工夫。

開発調査と並行して進めるため、研究初年度の2009年に、とにかく定性的にもツバル海岸の砂収支マップを作成し、これに基づいて開発調査が提案する対策の評価を行った。さらに実際の対策工には、本プロジェクトの提案する対策（砂の生産-運搬-堆積過程の促進）を、可能な範囲で組み込んでもらった。その結果、対策工として当初候補としてあがっていた、護岸、潜堤、養浜のうち、長期的な海岸保全とコンフリクトしない養浜が実際の対策として提案された。

当初のスケジュールでは、本研究プロジェクトの後半に、本プロジェクトに先行してはじまり両輪として進められていた開発調査による、短期・緊急の海岸防災として養浜の対策工が始まるはずだった。最終的に護岸や潜堤でなく養浜を望ましい対策として決定されたのは、自然の国土形成機構とコンフリクトしない、むしろ促進する対策であることを、本プロジェクトが主張・評価したことが大きい。養浜が実施されれば本課題の期間中に実際の社会実装につながる機会と期待していた。さらに、本プロジェクトによってその効果をモニタリング、評価するための準備を進めてきた。しかし、5年の間事前調査までで具体的な対策工に進まなかったことが、本プロジェクトの社会実装の一環ととらえ、その効果を科学的に検証しようとしていて待ち構えていただけに、返す返すも残念であった。

我々のプロジェクトは、決して調査だけでなく、効果を定量的に評価し、ネガティブ要因も含めて科学的に評価・検証し、具体的な対応策を提言することができました。しかし、本課題は社会実装につながる科学技術の構築であって、対策工や実際の社会実装ができる規模のものではありません。

相手国側の研究能力については、本プロジェクト期間中に自立した技術者を養成する。そのために、共同研究の実施を通じて技術指導を行うとともに、適宜日本に招へいして研修指導を行う。またすべてこちらでやってしまうのではなく、適切にカウンターパートにやらせるような誘導が必要である。さらに、研究・モニタリングの南太平洋の地域ノードでもある南太平洋大学やSOPACとの連携を測る。

- ・ プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国(研究機関・研究者)が取り組む必要のある事項。

プロジェクトは、有孔虫増殖水槽や海岸生態・地形モニタリングは、すべてのモニタリング、国土と環境の調査の基盤となるものである。これら技術を相手国において維持・発展させるためには、人材とともに、その根拠となる体制・仕組みと、活動を維持するための経費が必要になる。そうした維持経費を研究開発に伴う事業展開によって維持する方策を検討することが必要である。さらにそうした方策が軌道に乗るまでは、初期の維持費用の支援をすること、また事業展開を支援することも重要である。

生態工学的な島の再生のためには、コーズウェイの開削と水質改善が不可欠であることが明らかになった。しかし、いずれの課題も、本プロジェクトの枠内での実施は不可能である。本プロジェクトの科学的な成果に基づいて、他のプロジェクトを適切に誘導することが必要である。

しかし、生態工学的・長期的にいくら正しい技術、政策でも、グローバル化した経済・社会のもとで、外部からの支援に基づいて短期的な結果を求める現地の社会環境のもとでは、直ちには受け入れられない。理工だけでなく、社会、経済、政治学とも連携して、グローバル化した社会・経済のもとで、長期的な施策を受け入れてもらえるガバナンスのあり方を、現地のステークホルダーとともに構築することが必要と感じた。その際には、ドナー側の意識と支援のあり方を変える必要もある。

§ 8 結び

政策案件として始まった本プロジェクトは、期間中の 2011 年 6 月に緒方貞子 JICA 前理事長が視察に訪れ、視察後は福田元総理との会談でツバルへの元総理の約束が果たされていることを報告されるなど、我が国の責務を果たすための科学技術を協力して取り上げていただいたことを誇りに思う。さらに、2013 年 9 月には石原伸晃環境大臣が視察に訪れ、本プロジェクトがツバル国の海岸・国土保全、海面上昇対策の柱であることを理解してもらえた。理工が連携して進めた本研究によって、政策案件を科学的視点から支援することができた。

最近になって、海面上昇に対する国土保全策として、オランダや米国において生態系ベースの海岸保全が策定されるようになっているが、本プロジェクトでまとめた政策提言は、その先駆的なものであると評価することができる。しかしながら、こうした長期的な視点にたった新しい提案を実際に施策として実施するためには、ローカルな問題の背景にある経済のグローバル化や伝統的な統治システムとそれとは無関係に外部から導入された西欧的な統治システムとの折り合いの問題まで取り扱う必要がある。また、ドナー側にとって前例のない長期的視点にたった施策を実施することの困難を感じた。

これまでの研究費の枠組みでは、海外のカウンターパートに直接研究機材を供与することができず、十分な研究協力ができなかった。一方、JICA の専門家派遣では対応する国内での研究が不十分であった。SATREPS は、その両者に手当てができ、国際的な研究協力を十分に進めることができた。また、とくに現地に調整員を置くことで、調査の機関だけの一過性の協力でなく、持続的な協力を進めることができた。せっかく構築できた関係を、今後も維持できる枠を是非つくってほしい

以上