

**地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)**  
**研究課題別終了時評価報告書**

**1. 研究課題名**

海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持（2009年4月～2014年3月）

**2. 研究代表者**

2. 1. 日本側研究代表者：茅根 創（東京大学大学院理学系研究科・教授）
2. 2. 相手側研究代表者：Mataio Tekinene（ツバル国環境局・局長）

**3. 研究概要**

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開発、提案する。

具体的な研究項目は以下の4つである。

1. ツバル海岸の地形・生態的維持機構の解明（地形・生態班）
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）
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）
4. 有孔虫増殖の基礎的研究（有孔虫班）

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。リモートセンシング班は、島の侵食、環境の変化、維持機構の解明に必要な観測項目を整理し、観測し、それらがツバルで継続的になされるよう技術指導する。海岸工学班は、星砂の漂流、堆積などの解析技術を確立し、評価する。有孔虫班は、現地の有孔虫ハビタットおよび生産量の把握、育種の可能性調査などのほか、増殖水槽を設置して増殖試験を行い、有効な増殖方法を見出す。

**4. 評価結果**

**総合評価** （A：所期の計画とほぼ同等の取り組みが行われ、目標通りの成果を挙げることに成功した）

現地的人的資源が乏しい中、科学・技術的にはほぼ所期の目標を達成し、貴重・重要な知見が得られた。これらの成果は、CO<sub>2</sub>排出国である日本にとっても国際的な貢献といえる。ただし、相手国における社会実装、今後の発展については不明確な点がある。

具体的には以下の通りである。

本プロジェクトは、海面上昇によって水没が危惧されている環礁国ツバルに対して、海岸後退・劣化の原因が、水質悪化による有孔虫の生産減少、突堤やドレッジ、コースウェイなどの海岸構築物や護岸による漂砂移動や堆積の阻害にあるという仮説を、現地での観測・調査研究と海岸工学の数値シミュレーションによって定量的に明らかにした。このことは、ツバル環礁における地形形成に有孔虫の生産が重要な意味を持つことを示し、近年起こっている浸食にローカルな人為的影響が寄与していることを示したという意味で、高く評価できる。

成果の一つとして、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」が創作された。また、有孔虫の実験水槽における増殖に成功し、世界で初めてその増殖技術に道を開いた。さらに、砂浜の再生に向けて、水質改善から各種の生態工学的対策が時間的・技術的な優先順位とともに示されている。その中では、コースウェイによる環礁の閉鎖が外洋で生産される星砂のラグーン側への移動を妨げている、とのシミュレーション結果を得て、コースウェイの開削も提案した。一連の研究成果は、他のサンゴ島嶼の維持・保全に応用可能な、世界的にも最先端の優れたものと高く評価できる。

しかし、ツバルの財政力と人材の状況を考えると、国土保全対策が、現実的に実施される見通しは立っていない。また、SATREPS と同時並行で進められていた JICA 事業を通じた実証テストが実現しなかったのは残念である。提示された一連の対策の方向性を念頭に置きながら、ODA 等で当面できることを実現すること、さらに、これからも協力・支援を継続し、ツバル国民の認識を高め、人材の育成に協力する枠組を維持することが望まれる。加えて、島全体の保全のためには大きな基盤であるサンゴ群集の保全・再生にも大きな力を注いでいく必要がある。

#### 4-1. 地球規模課題解決への貢献

##### 【課題の重要性とプロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクト】

- ・ 地球温暖化による海面上昇の影響で国の消失が危惧される島嶼国の保全・再生という目的に対し、星砂による浜辺の生成など生態学的方法で対処するというユニークな研究であったが、科学・技術的に当初の目標を達成したと言える。特に、島の生成機構とその阻害要因を明らかにしたこと、有孔虫・星砂の生産に関する研究と、砂の運搬・堆積に関する研究を融合させたことは高く評価できる。

具体的には、ツバルの海岸の形成過程に有孔虫が生産する星砂が重要な役割を果たしていることを示し、最近の海岸浸食が星砂の生産が減少していることが大きな原因であることを明確にした。その知見に基づき、水質改善から各種の生態工学的対策を時間的・技術的な優先順位とともに示し、その中で星砂の効率的生産やコースウェイの開削などの提案を行った。同時に、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」を創作した。有孔虫の実験水槽における増殖にも成功し、世界で初めてその増殖技術に途を開いた。

これらは、他のサンゴ島嶼の維持・保全に応用可能な、世界的にも最先端の優れたものである。

- ・ 提案された複数の生態工学的対策は、実現するための財源をどこに求めるかという問題はありますが、プロジェクト終了後のさらなる展開につながる提言といえる。最も望ましいシナリオは、ツバルとその周辺サンゴ・有孔虫の生態系が再生することで、そのためには排水・ゴミ処理による環境対策が必要となることが明記されている。突堤撤去とドレッジ埋め戻しなども提言に盛り込まれたが、ラグーン側に漂砂がない現状ではこれらの対策だけでは効果を発揮しない。その応急対策としてコースウェイの開削が提案されている。コースウェイ開削により、有孔虫の豊富な外洋からラグーンへの砂の供給が復活し、砂浜の再生が始まるというものである。

#### 【国際社会における認知、活用の見通し】

- ・ 島嶼国の保全はCOP-FCCC(気候変動枠組み条約・締約国会議)などでも重要な課題として取り上げられており、本研究の成果が活用される可能性は高い。近年、先進国において、これまでの護岸や堤防などの土木工学的海岸保全対策（グレイテクノロジー）から、養浜、湿地やカキ礁等を利用した生態工学的対策（グリーンテクノロジー）への転換の動向が見られると言われているが、本研究はそうした方向の先駆けとして高く評価される。

#### 【他国、他地域への波及】

- ・ 環礁州島の形成過程と、それに基づく島の生態工学的維持・保全対策に関する本研究の成果は、世界に多数分布する他の島嶼に適用することが可能と考えられる。少なくとも、海岸環境マップは他の国でも施策を計画する上で有益なツールである。ツバルと類似の環境のもとにある島嶼への波及を促進するには、今後のツバルでの研究成果の実証と国際社会への情報の積極的な発信に加え、それら島嶼国の関係者によって構成される組織を作って連携を深めることが肝要である。

#### 【国内外の類似研究と比較したレベル】

- ・ これまでサンゴ礁海域の研究の多くは、サンゴ群集に向けられており、本研究のように有孔虫を中心とし、島嶼の形成からその保全までを扱った研究は世界的にもユニーク

であり、最先端の優れた研究と評価できる。海岸の浸食・堆積過程の解明や、有孔虫の増殖技術、海岸環境マッピングなどは研究レベルも高く、同様の問題を持つ国・地域に共通して重要である。

## 4-2. 相手国ニーズの充足

### 【課題の重要性とプロジェクト成果が相手国ニーズの充足に与えているインパクト】

- ・ 相手国は分かりやすく短期的な効果の出る対策を要望する傾向が強いため、相手国ニーズの充足度あるいは満足度が高いかどうかの判断は難しい。しかしながら、海面上昇によって水没が危惧されるツバル国に対して、環礁州島の形成過程とそれに基づく生態工学的維持・保全対策の方向性が示された意義は高い。また、短期的な対策をとる場合でも長期的視野で有効か、問題が無いかなどを評価することの重要性を明確にしたことは大きな成果である。また、海岸環境マップは他の計画にも有効なツールであり、インパクトも高いと評価できる。

### 【課題解決、社会実装の見通し】

- ・ 高波やそれによる侵食対策としての礫養浜などの計画に、成果は活用されつつある。珊瑚と星砂の再生・復活による島の保全・再生が実行されるか否かはまだ不明であるが、その重要性は認識されつつある。ただし、コーズウェイの開削などは不確定要素が完全には払拭されていない。部分的に試行することから始めることなどが必要と思われる。有孔虫の増殖は費用やエネルギーの面から人工増殖は難しく、養殖との共用を検討することや自然環境条件を整える手法が現実的と考えられる。

### 【継続的発展の見通し（人材育成、組織、機材の整備等）】

- ・ 本プロジェクトは、他の SATREPS プロジェクトと異なり、ツバルには研究者が一人もいないなかでスタートし、当初からカウンターパート側の研究参加及びそれを通じての人材育成は困難であることを認識していた。それでも、現場のカウンターパートを丁寧に育成し、学会発表、論文の共著、ツバルで初めての特許共同発明者にすることに成功した。また、フィジーの研究者の参加を得るなどの努力がなされた。直接のカウンターパートは少ないものの、彼らは現場の指導的な立場で活躍し、移転した技術を日常業務に使うようになっており、部署内の専門的な技術能力を高めたといえる。
- ・ 有孔虫の増養殖方法の確立に関し、東大と海洋プランニングが共同で出願した特許に、発明者として名前を連ねたのは、リサーチダイバーのロパティ・パイニュー氏である。ロパティ氏は有孔虫のハビタットマップの作成に大きく貢献し、ツバル人で初めての特許出願者となったことに誇りを持っていることがうかがえた。

**【成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展してゆく見込み（政策等への反映、成果物の活用など）】**

- ・ 本課題は学術的な研究としては高く評価でき、日本側研究者の意欲も高いが、その成果が政策にどの程度反映され、持続的な成果の利用に繋がるかはまだ不明確である。少なくともツバルが単独で進めていける見込みは高くないと言わざるを得ない。

**4－3．付随的成果**

**【日本政府、社会、産業への貢献】**

- ・ 本課題は我が国が太平洋の島嶼国が抱える課題に対し、国として支援する一環として始まったものであり、我が国とツバルの交流を深めるには大きく寄与した。また、温暖化などで同様の問題を抱える島嶼国にこうした研究援助の形と解決への道筋を示した。今後カーボンの排出国の貢献に関して、一つの方向を示し、国別行動計画などに活かすことが可能となると考えられる。また、本研究の成果は、日本のサンゴ礁島嶼やサンゴ礁の砂浜の維持・保全にも活用できる。特に沖ノ鳥島の維持・保全への適用が期待される。

**【科学技術の発展】**

- ・ サンゴ環礁州島に関する日本の研究レベルは世界的に群を抜いているが、特にこの研究プロジェクトは、有孔虫の生産による環礁州島の形成過程の解明、有孔虫増殖技術の開発、それらを基礎とした生態工学的対応策の提案と、関連する理学と工学分野を連携・融合させて有用な成果を挙げたことが、極めて高く評価される。

**【世界で活躍できる日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）】**

- ・ 年間90日近くツバルに滞在した若手研究者は、研究だけでなく、現地CPとの調整など研究マネジメントが行える人材に成長した。また、このプロジェクトの後継プロジェクトをリードできる中堅研究者も育てている。

**【知財の確保や、国際標準化への取組、生物資源へのアクセスや、データ入手方法】**

- ・ 有孔虫の増殖技術、廃水処理システムの二つで特許を申請した。有孔虫増殖法は世界で初めて開発したものであり、日本人研究者とツバル共同研究者が共同で特許出願していることは、共同研究開発の実績として高く評価できる。また、水質汚染対策の重要性が判明してプロジェクト後半から補強された研究分担者らは、ツバルで容易に適用可能な海水利用の浄化装置を考案して、特許申請を行った。

**【その他の具体的成果物（提言書、論文、プログラム、試作品、マニュアル、データなど）】**

- ・ 重要な成果では論文を執筆する一方、「Final Report of Eco-Technological Management of Tuvalu against Sea Level Rise」をツバル政府に提出しており、今後の活用が期

待される。現地でのアウトリーチのために一般向け絵本やパンフレットなども出版している。提言書は英文であり、パンフレットは現地語でも書かれた絵本も作り、得られた成果の普及にはかなりの努力が払われたと高く評価できる。また、このプロジェクトによって初めて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）ができたことも、重要な成果として挙げられる。

#### 【技術および人的ネットワークの構築（相手国を含む）】

- ・ 大学も存在していない小さな人口の国であり、技術移転や人的ネットワークの構築についての現段階での評価は高いとは言えない。ただ、本プロジェクトは、ツバル側に共同研究が可能な人材が全くいない中で始まった。プロジェクト期間中に、少数ではあるが、大学学部卒業レベル以下であった現地カウンターパートが、学会発表を行い、論文共著者、特許共同出願者になり、技術部門の現地リーダー役が果たせるまでに育成された。ツバル政府が彼らをどのように活用するかは依るが、技術的・人的ネットワークの基礎は築かれていると判断される。

### 4-4. プロジェクトの運営

#### 【プロジェクト推進体制の構築（他のプロジェクト、機関などとの連携も含む）】

- ・ この研究プロジェクトが優れた研究成果を挙げることができた理由の一つは、理学系と工学系からなる4つのグループ（地形・生態、リモートセンシング、海岸工学、有孔虫）が、極めて有機的に連携・協働できるフィールドワークを重視した研究アプローチを取ったことにあると考えられ、この点を高く評価したい。カウンターパートについては、もともと人材や組織力などに課題があったが、地道に人材育成を続けながら共同研究を成立させ、苦労しながら成果を挙げることができたと言える。

#### 【プロジェクト管理および状況変化への対処（研究チームの体制・遂行状況や研究代表者のリーダーシップ）】

- ・ プロジェクト中間段階で、海洋の水質汚染が沿岸後退・劣化の一因であることが判明したため、水質処理関係の研究分担者を補強し、ツバルに適した水質改善対策を提示するところまでプロジェクトのスコップを広げた。社会実装を目指す SATREPS の趣旨に沿った適切な対処であったと高く評価される。

また、有孔虫の生産とその活用が実際に砂浜再生に効果があるレベルか否かを明確にするため、水槽や海岸での完全・中間養殖の実験に加え、予定外の海面養殖にも挑み、コスト計算を試みたことは機転の効いた展開だった。ホタテや昆布の養殖現場の経験や、有孔虫の養殖技術を確立させたからこそ達成できたことといえる。

- ・ 関連する理学と工学分野を連携・融合させて、環礁州島の形成過程の解明、有孔虫増殖技術の開発、そして、それらを基礎とした生態工学的対応策の提案と、一連の有用な

成果に結び付けたのは、研究代表者の共同研究運営における卓抜したリーダーシップによるものと高く評価する。

#### 【成果の活用に向けた活動】

- ・ プロジェクト側から相手国政府及び JICA に対して積極的に説明がなされた。国際的にも良く情報発信されている。また、コースウェイの開削や水質浄化策について提言し、相手国政府も関心を示している。ただし、ここでの研究成果が活用されて、ツバルの沿岸環境が良くなったということは出来ず、その活用は今後の課題である。

#### 【情報発信（論文、講演、シンポジウム、セミナー、マスメディアなど）】

- ・ 基礎的な有孔虫の生態的研究等は興味深い成果を出しており、国際誌にも多くの論文発表（国内 14 件、国際 11 件）がある。また、その生態工学的な研究についても、現地において成果の普及等の努力を行ったことは評価出来る。また、ツバル国内で、有孔虫やサンゴの重要性についてシンポジウムを積極的に開催した。日本のメディアにもたびたび取り上げられている。

#### 【人材、機材、予算の活用（効率、効果）】

- ・ 特段の工程変更もなく、ほぼ所期の目標を達成したことから考えると、プロジェクト期間内の人材、機材、予算の活用は適切に行われたと判断できる。ただ、生態工学的な手法の本筋は、現場の環境の中で有孔虫の増殖が健全に行える方法を模索することである。島での培養装置が海岸保全のための有孔虫培養に今後使われるようには思えない。研究の用途に限定しても、人材不足、研究費不足などから、設置された機材が十分活用されるかは不明である。

### 4-5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

- ・ 成果の発展的な展開を維持していくために日本側も支援を継続すべき

ツバルにおける観測、有孔虫の増殖研究などの継続は、人材や予算の不足、その必要性についての認識不足などが危惧される。ツバルの現状を考えると、本研究を自律的に継続・発展させていくことは大変難しく、プロジェクト終了後も何らかの協力・支援の枠組みが必要である。また、本プロジェクトの成果がツバルにおいて活用されるためには、ツバル政府の強い意思、モニタリングの継続体制の構築、有孔虫増殖水槽ならびに関連施設の活用、成果のツバル国民への周知、日本からの支援の継続、国際機関・ドナーとの連携などが必要であり、これらはツバル政府と JICA の確認事項にもなっている。

提示された一連の対策の方向性を念頭に置きながら、ODA 等で当面できることを実現する一方、連携を継続しつつ、ツバル国民の認識を高め、人材の育成に協力する枠組みを維持していくことが望まれる。

- ・ 重要課題の着実な進展に向けた取り組みを進めていくべき

コースウウェイ開削工事は、本プロジェクトのシナリオ（有孔虫、特にバキュロジプシナによる砂生産の向上・砂の移動（漂流）の方向変化と希望する場所への移動促進、希望する海岸における砂の堆積と滞留の促進）の妥当性の検証に必須と思われ、数値シミュレーション結果とそれを検証する置き砂による実験が行われ、ある程度の妥当性が裏付けられている。ツバル政府側も興味を示しており、工事を進める前に効果及び副作用などの実現可能性を検証するために小規模な開削で確認し、慎重に実施するように提案された。

高潮時に打ち寄せられる礫などによる閉鎖、何らかの悪影響などの危惧も確認すべきとの意見もあるうえ、誰が行うか（経費の負担と責任）も大きな課題である。また、現地での教育も含め、社会科学的、人文科学的なアプローチも必要と考えられる。

- ・ JICA 技術協力プロジェクトの着実な推進を確認するべき

JICA が SATREPS プロジェクトと両輪で進めるとしていた養浜の技術協力プロジェクトがこう着状態に陥り、プロジェクトの成果の一部を実証できなくなってしまったことは、残念である。JICA サイドからは、本プロジェクトをパイロット事業として実施し、見通しを得たうえで、正式な提案を経て将来の大規模な事業につなげていく可能性が示唆されており、その行方を注目していきたい。

- ・ 島嶼国間のネットワークを構築するべき

研究の発展や継続的モニタリングのためには、現地の人材が不足しているため、同様の問題点をもつ島嶼国間のネットワークを形成し、全体としてこうした問題の科学的解決に向けて取り組む必要がある。

- ・ 成果のさらなる活用を目指し、世界に向けて情報発信するべき

ツバルのような環礁での地形形成について、地域による違いはあるものの、一般性の高い研究であり応用可能な研究である。中核的な生態工学的な方法による海面上昇への対応策に関しては、まだ国際学会や国際誌等への発表が十分にされていると言いはない。今後の研究の発展を含めて世界に発信することによって、成果が活用されることが期待される。

以上

# JST上位目標

研究課題名	海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持
研究代表者名 (所属機関)	茅根 創 (東京大学 教授)
研究期間	H20採択(平成20年10月1日~平成26年3月31)
相手国名/主要 相手国研究機関	ツバル共和国/ツバル国天然資源環境省環境局

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・堆積過程を促進し、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

人間活動と人工構造物の影響を組み込んだ沿岸域の砂の供給・運搬・堆積を促進する支援策がツバル国の海岸保全管理策として採用される

## 付随的成果

日本政府、 社会、産業 への貢献	・国連気候変動枠組条約による国別行動計画(NAPA)への貢献。
科学技術の 発展	・科学技術的知見に基づいた砂の供給・運搬・堆積を促進する生態工学的技術やその支援策が日本を含む島嶼国の環礁州島地形での海岸保全管理に活用される。(例:沖の島島)
知財の獲得、 国際標準化 の推進、生 物資源への アクセス等	・砂の供給・運搬・堆積を促進する生態工学技術(例:有孔虫増殖技術)
世界で活躍 できる日本 人材の育成	・参画ポスドク研究員(あるいは学生)名でレビュー付雑誌への論文掲載 ・ツバル側研究者と共同でレビュー付雑誌への論文掲載
技術及び人 的ネット ワークの構 築	・地球科学・生態学・海岸工学の研究連携成功 ・ツバルとの緊密な連携
成果物(提 言書、論文、 プログラム、 マニュアル、 リーフレット など)	・ツバルの海岸の地域的特性と海浜の生成過程について掲載 ・有孔虫の生活史の解明について掲載

「リモートセンシング」: ツバル海岸環境マッピングと維持機構の解明  
「海岸工学」: ツバル海岸の浸食・堆積過程の解明  
「地形・生態」: ツバル海岸の地形・生態的維持機構の解明  
「有孔虫」: 有孔虫増殖の基礎的研究

## プロジェクト目標

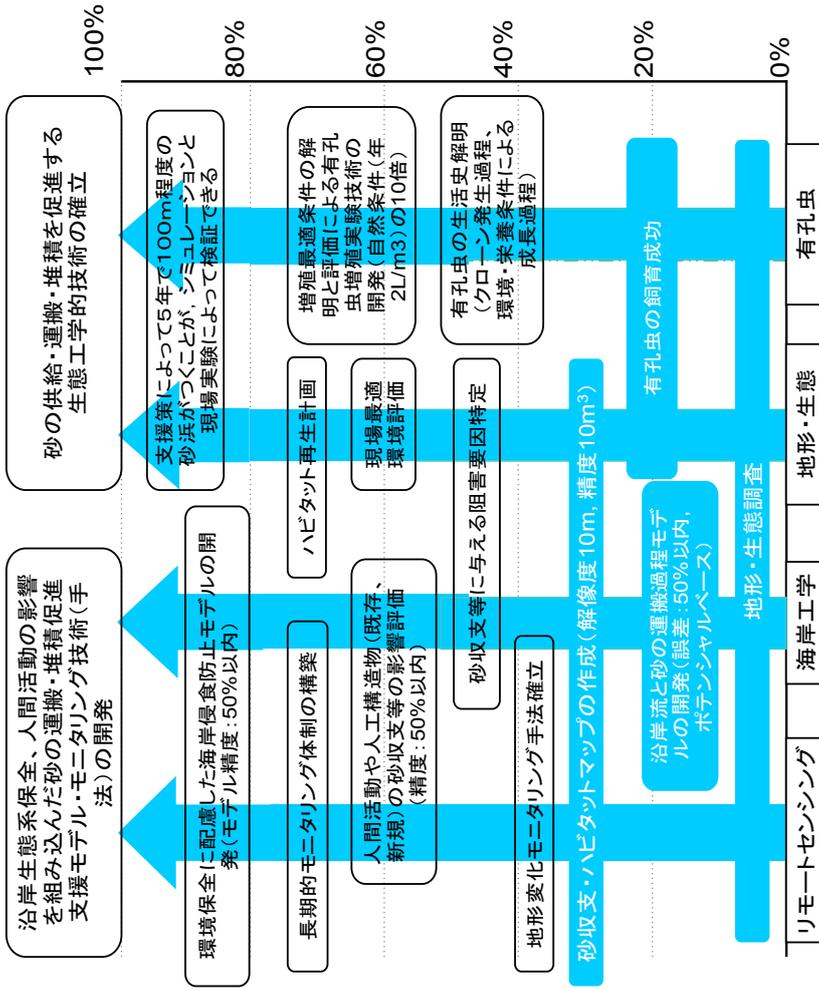


図1 成果目標シートと達成状況 (2014年4月現在)