

## B-15 環礁州島からなる島嶼国の持続可能な国土の維持に関する研究

## (3) 環礁州島形成維持プロセスの統合モデルと変動予測、モニタリングに関する研究

## 2) 環礁州島の地形維持機構に関する研究

茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター 横木 裕宗

〈研究協力者〉 茨城大学 工学部都市システム工学科 桑原 祐史  
茨城大学 大学院理工学研究科博士後期課程  
情報・システム科学専攻 佐藤 大作

平成15～19年度合計予算額 15,097千円  
(うち、平成19年度予算額 3,500千円)

※上記の合計予算額には、間接経費3,483千円を含む。

[要旨] 環礁州島における気候変動・海面上昇に対する適応策を提案することを目的として、現地調査と数値計算、および空中写真・衛星画像解析により州島の地形維持機構の解明を行った。現地調査はマジュロ環礁とフォンガファレ島で行った。現地調査では、まず海岸付近の踏査を行い、海岸地形、底質、海岸植生、陸側の土地利用の状況を調査した。その結果、ラグーン側海岸では比較的砂浜が豊富に存在しているものの侵食傾向であること、また外洋側海岸は礫浜となっていることが分かった。侵食傾向にある海岸では海岸植生の根も侵食されていた。また、マジュロ環礁のローラ島の海岸で断面地形測量を行い(2006、2007年)、同じ測線でSOPACが実施した測量結果(1997、1998年)と比較した結果、ローラ島先端部において激しい侵食傾向が見られる以外は、大きな変化は見られなかった。これは、最近10年間に大きな暴浪が来襲しなかったためと考えられる。

次に、ローラ島周辺、ロングアイランドのラグーン側海岸において流速場の定点観測を行った結果、ローラ島先端部付近では潮汐流が、それ以外の海岸では波浪による往復流が流れ場の主たる要因となっていることが明らかとなった。さらに、汎用的な波浪変形数値モデルを用いて、マジュロ環礁周辺の波浪場の計算を行い、汀線変化モデルと同様の仮定においてローラ島海岸の土砂変化量を算定したところ、断面地形測量の比較結果をほぼ再現することができた。また、海岸域での土地利用の変遷や海岸植生域の変化の海岸地形維持機構への影響を考察するために、フォンガファレ島およびマジュロ環礁において、地質調査図、空中写真、衛星画像を用いて最近20年間程度の海岸域の土地利用変遷と海岸植生分布について調査した。その結果、フォンガファレでは、海岸植生は州島の端部かつラグーン側海岸でより顕著に減少していたことが分かった。また、ローラ島で海岸植生分布と海岸地形変化傾向について比較したところ、明確な対応は見出せなかった。以上の知見をもとにローラ島において海岸の保護を主眼にした、土地被覆と海岸植生を考慮に入れたゾーニングマップを作成した。

[キーワード] 海面上昇、波・流れ場、土地被覆、ゾーニング、マジュロ環礁

## 1. はじめに

環礁州島とは環状のサンゴ礁（環礁）上に形成された細長い島をいう。太平洋上には環礁が多く分布しており、環礁州島で形成された小島嶼国が数多く見られる。これらの島は標高が低く、しかも土砂を継続的に供給する河川なども存在しないため、海岸の底質はサンゴ礁海域の有孔虫の遺骸やサンゴや貝殻の破片などで構成されている。

また、一般にサンゴ礁海岸では、波浪や流れによる岸沖・沿岸漂砂による侵食・堆積過程に加えて、リーフエッジからのサンゴの生物生産による土砂供給過程が存在する。さらに州島での人間居住により海岸植生の整備・伐採などがあり、このことも海岸侵食に影響すると言われている。しかし、これらの相互関係は複雑で未だ明らかにされていない。しかし海面上昇に代表されるような将来の環境変動に対する適応策を早急に検討するためには、いくつかの項目に絞りながらも環礁州島の地形維持機構を明らかにすることが非常に重要である。

そこで本研究では、これらの過程のうち環礁州島海岸における波浪場と海岸線変化の関係に注目し、現地調査および数値計算を行った。研究対象州島はマーシャル諸島共和国の首都であるマジュロ環礁（2003年9月、2005年8月、2006年8月、2007年8月）および、ツバル国フォンガファレ島（2004年8月）とした。現地調査では海岸視察（海岸植生、土地被覆調査）、断面地形の簡易測量、流速計を設置した流速の連続観測を行った。

本研究では、環礁州島の地形維持機構の解明を目的として、以下の五つの小課題を掲げて調査・研究を実施した。

- (1) マーシャル諸島共和国マジュロ環礁における流動場の現地調査
- (2) マジュロ環礁ローラ島における海浜地形変化調査
- (3) 数値モデルによるマジュロ環礁の海岸地形の解析
- (4) マジュロ環礁を対象とした沿岸域ゾーニング図の作成
- (5) ツバル国フォンガファレ島を対象とした沿岸植生環境の分析

## 2. 研究目的

- (1) マーシャル諸島共和国マジュロ環礁における流動場の現地調査

マジュロ環礁の州島の地形維持機構を解明するために、州島の海岸における地形変化のメカニズムを解明する必要がある。本課題では、主たる要因となる、海岸付近の流動場を流速計を用いて観測を行い、観測された流動場が生じるメカニズムとその地形変化への影響を考察することを目的とした。

- (2) マジュロ環礁ローラ島における海浜地形変化調査

過去10年間程度の海岸地形変化傾向を把握することと、海浜地形の将来予測モデルを開発する際の検証データを得ることを目的として、2006年8月および2007年8月にローラ島海岸で断面地形測量を実施した。測線は、1997年および1998年にSOPACが測量を実施したのと同じ測線とした。（3）数値モデルによるマジュロ環礁の海岸地形の解析

マーシャル諸島マジュロ環礁を対象とし、環礁周辺も含む広い領域において、浅海域にも適用できる第三代波浪推算モデル(SWAN)を用いて波浪場の算定を行い、得られた波浪エネルギーフラックスと堆積物生産量を用いて州島の地形維持過程をシミュレーションすることを目的

とした。海面上昇後において波浪による地形変化のポテンシャルがどのように変化するかを定量的に明らかとすることを試みた。

#### (4) マジュロ環礁を対象とした沿岸域ゾーニング図の作成

南太平洋島嶼国を対象として、気候変動の影響から国土を保全するための情報生成を目指す。そのうち、本研究では、沿岸域の地

形概況、土地被覆および植生を考慮した国土防護のためのゾーニングマップ作成について検討を進め、最終的にその手順を整理することを目的とした。

#### (5) ツバル国フォンガファレ島を対象とした沿岸植生環境の分析

適応策策定に先立つ事前情報作成の位置づけとして、ツバルの主要島群フナフチ環礁のうち、首都が位置するフォンガファレ島を研究対象領域とし、現地の土地被覆を確実に把握することができる空中写真(1984年)および衛星画像(2004年)を使用し、沿岸部を対象とした土地被覆変化を分析することにした。

### 3. 研究方法

#### (1) マーシャル諸島共和国マジュロ環礁における流動場の現地調査

マジュロ環礁での現地調査では、ロングアイランドからローラにかけてのラグーン側海岸付近およびローラ島周辺での流況を把握するために、図1に示した地点において、流速計を設置して汀線付近の平均流速と平均流向の測定を行った。使用した流速計はアレック電子(株)製の自記式電磁流速計である。これを鋼材で作成した簡易架台(高さ:約50cm)に固定し海底に設置した。設置地点は、どの測線においても汀線から約150~200m沖へ離れたリーフ上とした。設置地点の平均水面は2、3m程度であった。

観測データは平均流成分と軌道流速成分とに分離し検討した。ここで、平均流速および平均流向は水粒子が海浜流に乗って平均的に流れる速さおよび向きを示しており、軌道流速および主流向は波による水粒子の楕円運動の速度および向きを示している。つまり軌道流速と主流向は波を表し、平均流速と平均流向は潮汐などの波以外による流れを表すことになる。

#### (2) マジュロ環礁ローラ島における海浜地形変化調査

2006年8月および2007年8月のマーシャル諸島マジュロ環礁での現地調査ではマジュロ環礁西部のローラ島周辺について海岸断面の測量を行った。

海岸断面の測量はローラ島周囲に全部で9本の測線を設けて測量を行った。この測線は1997年および1998年にSOPAC<sup>1)</sup>によって測量された測線に合わせて設定したものである。同様の測線で測量を行うことにより、1997年から2007年までの10年間の間にマジュロ環礁西部の最も幅の広い島でどの程度の地形変化が生じていたのかを比較した。

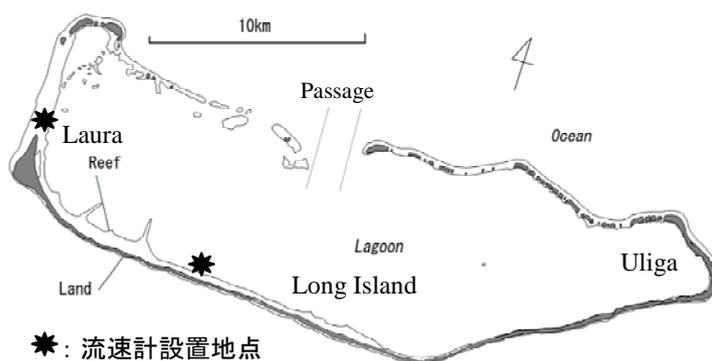


図1 マーシャル諸島マジュロ環礁。

\*: 流速計設置地点

### (3) 数値モデルによるマジュロ環礁の海岸地形の解析

#### 1) 環礁州島における地形変化

環礁州島の地形は人間活動、リーフ上の生態系、波・流れといった物理外力や潮汐などの複合的で複雑なシステムの中に存在している<sup>2)</sup>。環礁州島を構成する要素はリーフ上に存在する有機物に支配され、特に有孔虫遺骸が州島の維持形成に重要な役割を果たしている<sup>3)</sup>。リーフ上の生物によって生産された有機物は波・流れなどの物理外力によって運搬・堆積し州島の地形変化が生じる。運搬・堆積についてさらに細かく現象を見てみると、生産された堆積物は沿岸方向に運ばれるものもあれば、ラグーンや外洋の深部へと運ばれ、二度と海岸付近に戻ってこないものもある。物理外力に関しても、リーフと波浪変形の関係や来襲する波浪の季節的変動、潮汐変動との相互作用、稀に来襲するハリケーンというように、複雑でその種類や時間・規模のスケールが多岐にわたる。

以上のように複雑なシステムのなかで変化している環礁州島の地形変化を総合的に取り扱うことは困難である。そこで、環礁州島の地形変化をその起動力で大きく2つに分類し簡略化した。一つは波浪や潮汐など日常的に環礁州島海岸に作用している外力によって生じる地形変化であり、輸送される底質は有孔虫遺骸やサンゴの細破片といった砂質が主となる。さらに、これらの地形変化は日周期、季節周期のスケールとして考える。二つめは数十年スケールに着目したハリケーンなどのイベントによる地形変化である。暴浪イベントによる地形変化は、特に外洋側海岸でのサンゴレキの移動・堆積を生じさせる<sup>8)</sup>。また、長期的には人間活動による海浜植生の劣化なども地形に影響を与える。こうした現象は長期的な視点で見ると州島の維持形成に重要な役割をなしていると予想される。

ここでは比較的短い時間スケールである日常的に来襲する外洋のうねりと風波に焦点をあて、それに伴う地形変化（特にラグーン側海岸における砂質堆積物の移動）に着目した。また、複雑な現象を単純化して理解するために、自然プロセスでの「運搬 - 堆積」という簡易モデルを仮定して地形変化の計算を行った。計算は外力となる風波・うねりの計算とそれを外力とした沿岸漂砂量・土砂収支の計算と大きく2つに分けられる<sup>4)</sup>。この計算の特徴は、IKONOS画像から抽出した詳細な水深・地形データを用いている点、またマジュロ環礁西部のローラ島地域から東部のウリガ地域までの一連の海岸線について州島一周の収支を計算している点である。これにより、ローラ島北端での外洋-ラグーン間の底質移動も表現可能である。以下に計算の詳細を記す。

#### 2) 波浪場の算定

波浪場の算定にはSWAN 40.51を用いた。SWANはオランダのデルフト工科大学で開発された第三世代波浪推算モデルであり、波の屈折・浅水砕波といった波浪変形に加え、風による波の発達や白波砕波、四波共鳴理論などを考慮できるモデルである<sup>5)</sup>。本研究では40.51版を用い、擬似的ではあるが波の回折についても考慮可能である。

計算は各月ごとに境界条件を設定して算定した。境界条件にはECMWFから入手した1990年から1999年までのマジュロ環礁周辺における有義波高、有義波周期、平均波向きの客観解析データから各月における平均値を算出し、JONSWAP型スペクトルを算定して与えた。

風の場合は、マジュロ環礁測候所から入手した2002～2003年の現地観測データから、各月にお



図2 水深・地形データ。

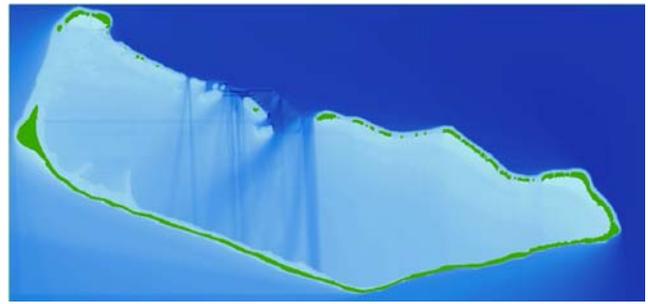


図3 波浪場の計算例（1月）。

ける平均値を算出し、それらを計算領域全域に均一場として与えた。また、地形データは2000年に撮影されたIKONOSの衛星画像から州島とリーフの輪郭を抽出し、それより32m幅の正方形メッシュデータを作成した。抽出されたリーフ上の水深は一律で1mとし、ラグーン内の水深は1945年に作成された海図から水深データを作成し、外洋側はすべて水深500mとした。作成された水深・地形データを図2に示した。計算領域は図に示した領域を外洋側に広げた環礁全体を含む40km×60kmとした。以上の水深・地形データおよび境界条件のもと、各月における波浪場を算定した。なお、州島を越える波は通常波浪では存在しないと考え、州島は常時干出しているものとして扱った。

計算結果の例として、図3に1月の計算結果を示した。貿易風の卓越する時期にあたる1月では北東方向からうねりと風ともに来襲するため、環礁北東部の外洋側で大きく影響を受けている。一方、ラグーン内では、環礁北部のパッセージから進入する外洋の波は向かいの海岸へ大きく影響し、西部のローラ島や東部地域にまでは大きな影響を及ぼしていないことがわかる。

### 3) 沿岸漂砂量と土砂変化量の計算

沿岸漂砂量を計算するにあたり、まず波浪場の算定で得られた沿岸部における各月の有義波高、有義波周期、平均波向きから、次式を用いて沿岸方向エネルギーフラックス  $W'$  の算定を行った。

$$W' = E \cdot C_g \sin(\theta_b - \theta_{sh}) \cos(\theta_b - \theta_{sh}) \quad (1)$$

ここで、 $E$  は波のエネルギー、 $C_g$  は群速度、 $\theta_b$  は砕波点における波向き、 $\theta_{sh}$  は汀線角度である。汀線角度については、衛星画像から抽出した州島の輪郭から、各計算点における角度を求めた。得られた沿岸方向エネルギーフラックスから、Komar<sup>6)</sup> による漂砂量係数を用いて次式から沿岸漂砂量を計算した。

$$Q_y = \frac{0.77W'}{(\rho_s / \rho - 1)\rho g} \quad (2)$$

ここで、 $W'$  は沿岸方向エネルギーフラックス、 $\rho_s$  は海底砂の密度であり、計算対象は有孔虫遺骸やサンゴ砂であるが、本研究では一般的な砂と同様であると仮定して2.56とした。また、

$\rho$  (=1.02) は海水の密度である。

得られた各月の沿岸漂砂量から一連の州島全体における土砂収支をOne-line modelで計算し、正味の漂砂量を算定した。計算の際の移動高さはリーフ上（水深1m）と設定した。得られた値を単位幅あたりに換算して、各月の日数分かけ合わせた後に、12ヶ月分足し合わせて年間の土砂変化量を求め、それを単純に10倍することで各計算点における10年間の土砂変化量を見積もった。なお、底質はすべて砂であると仮定し、また、本計算では地形変化を波浪場計算にフィードバックしていない。

## （2）マジュロ環礁を対象とした沿岸域ゾーニング図の作成

情報収集、現地調査および現地諸機関とのディスカッションに基づき、研究で扱う情報の範囲とゾーニングの視点を下記の形とした。

①対象地区沿岸域を網羅する形で地形概況の情報を盛り込む。具体的には、GPSカメラを用いて撮影した現場写真の判読により、人間の身長を基準とし、沿岸部の地形高さを「高・中・低」の3つに区分をした。

②沿岸域の情報として、土地被覆および植生の情報を取り入れる。特に、植生については、土壌保持力の観点から、ココヤシと在来種（ココヤシ以外とした。おおはまぼう、パンダナス等が代表的。以下、その他植生と記す）を区分するようにした。具体的に、汀線近傍と沿岸部陸域を対象として、GPSカメラを用いて撮影した現場写真と衛星画像の判読に基づき、土地被覆と植生の情報を構築した。

## （3）ツバル国フォンガファレ島を対象とした沿岸植生環境の分析

土地被覆の変化を比較・分析する際には、異なるデータの座標系を整合させておく必要がある。本研究では、高空間分解能衛星画像(Quickbird2)を位置基準に取り、各種図面および空中写真に対して、幾何補正処理を施した。また、空中写真は複数の撮影シーンに分かれていることから、補正処理の後にモザイク処理を施した。なお、幾何補正前後のGCPの精度は、RMS誤差2pixel以内とした。また、高空間分解能衛星画像のモノクロ画像(PAN)の0.6mの空間分解能を活かして、CN変換(Color Normalized Transform)を用いたデータフュージョン画像を作成した。この処理を行うことで、2.4mの可視-近赤外バンドのデータの空間分解能を0.6mに近似することができ、研究目的とする沿岸域植生の判読と分析に有意なデータを得ることができる<sup>7)</sup>。この補正データを使用し、地理情報として、正規化植生指標画像(NDVI)による主として沿岸植生の把握を行った後に、緑被率を算定した。なお、LagoonおよびOceanの海域については、Yamanoら(2006)の研究成果に基づき<sup>8)</sup>、近赤外バンドのデータを用いた2値化処理により作成したポリンゴンを用い、GISエンジン上でオーバーレイ処理を施している。

### 1) NDVI画像の作成

NDVIは、CN変換によるフュージョン画像に対して、次式に示す方法で算定した。

$$NDVI = (BAND4 - BAND3) / (BAND4 + BAND3) \dots (3)$$

なお、式(3)におけるBAND4およびBAND3は、高空間分解能衛星画像の近赤外および可視域（赤）を示す。また、NDVI算定の後に、現地調査で確認した植生域を表現する指標値の範囲を試行検討により把握し(NDVI=0.35~0.75)、その範囲のNDVI値を8ランクに分けることによって、NDVI

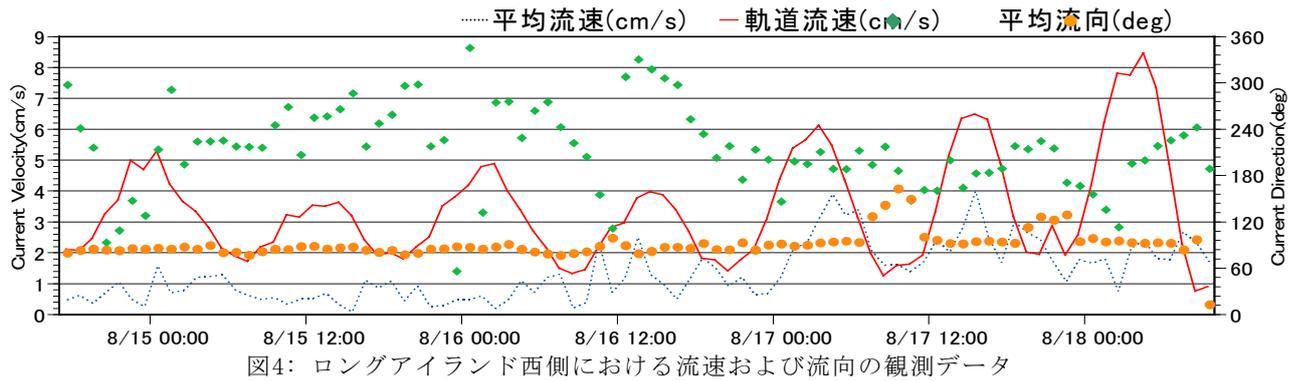


図4: ロングアイランド西側における流速および流向の観測データ

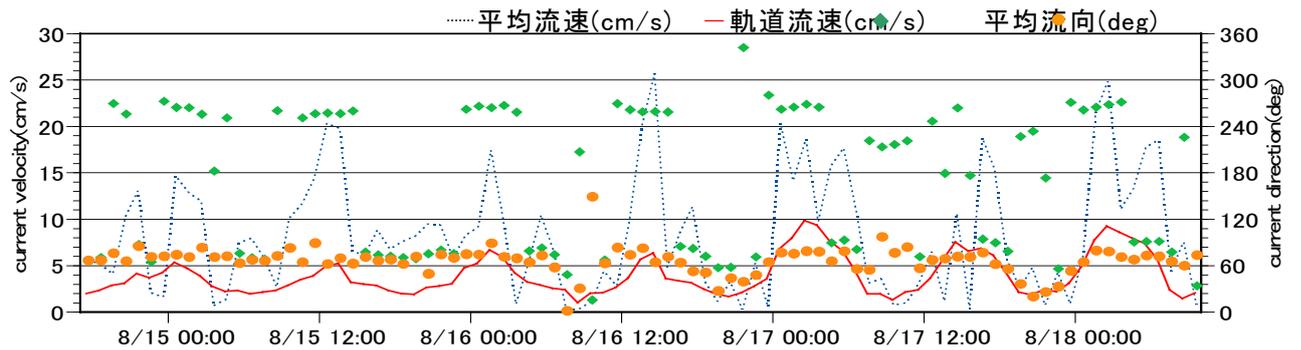


図5 ローラ先端部における流速および流向の観測データ。

画像を作成した。

## 2) 緑被率の算定

局所的な緑地の多寡を定量化することを目的として、フォンガファレ島の植生域が、単位面積に占める割合を算定した。具体的には、まず、NDVI値が0.35~0.75を示すピクセルを全て植生域とするデータを作成した（計算では一律に”1”）。次に、フォンガファレの代表的家屋の平均的なサイズを衛星画像より計測し、15mという数値を得た。最終的には、家屋の存在を緑被率に反映させることを考慮して、地上対応15×15mのカーネルを単位とした緑被率(%)を計算した。

## 4. 結果・考察

### (1) マーシャル諸島共和国マジユロ環礁における流動場の現地調査

図4、5に、それぞれロングアイランド海岸とローラ先端部海岸における流速観測結果を示す。ロングアイランドの海岸では、平均流向に周期性はほとんど見られず、平均流速についても周期性は見られない。一方、軌道流速の流向はほぼ一定となっており、入射波の波向きが一定であったことを示している。一方、ローラでの観測結果では、潮汐に応じて平均流向が明確に反転しており、また、流速の大きさも外洋側からラグーン側へ流入する流速が、流出する流速より大きくなっていることがわかる。また、軌道流速やその流向があまり変化していないことを考慮すると、ローラ先端では潮汐による流れが支配的になっていることがうかがえる。

以上よりロングアイランドでは波浪による底質移動が支配的であるが、ローラについては波浪だけでなく潮汐流による底質移動を考慮する必要があると考えられる。

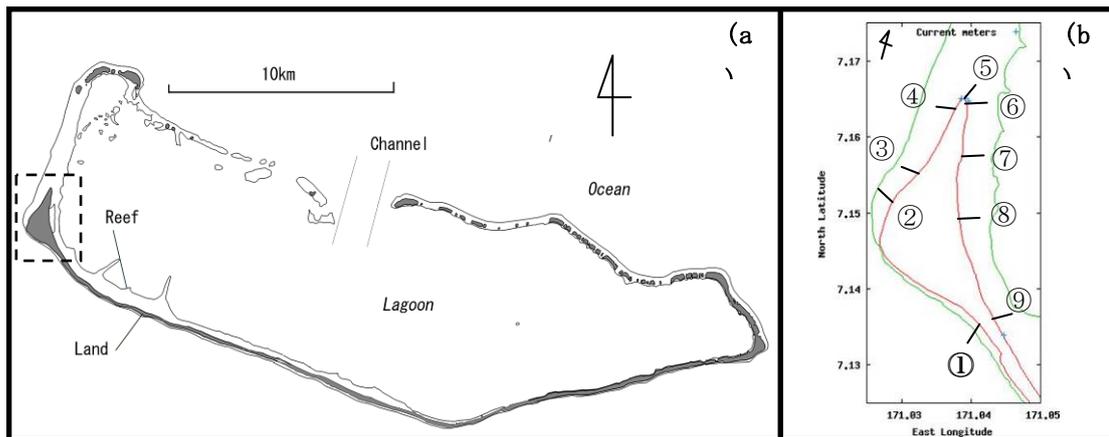


図6(a) マーシャル諸島マジュロ環礁 (7° 6'N、 171° 22'E)、 (b): マジュロ環礁ローラ島および測線位置 (丸数字は測線番号を示す)。

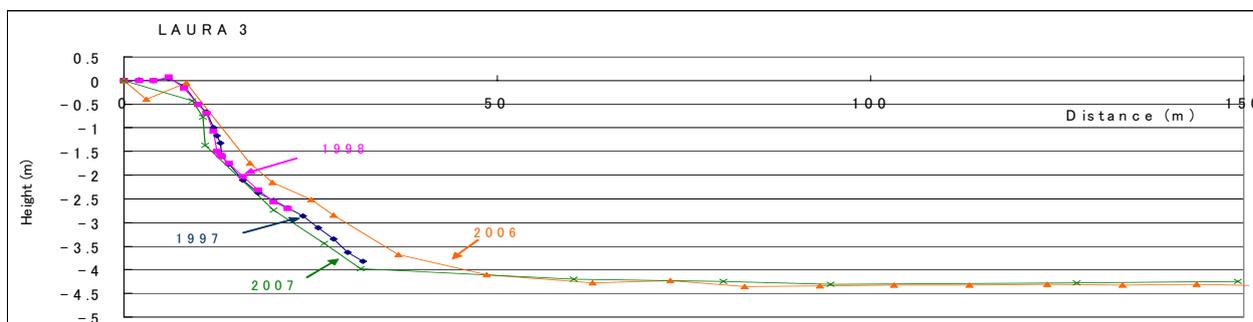


図7 Line 3の測量結果の比較。

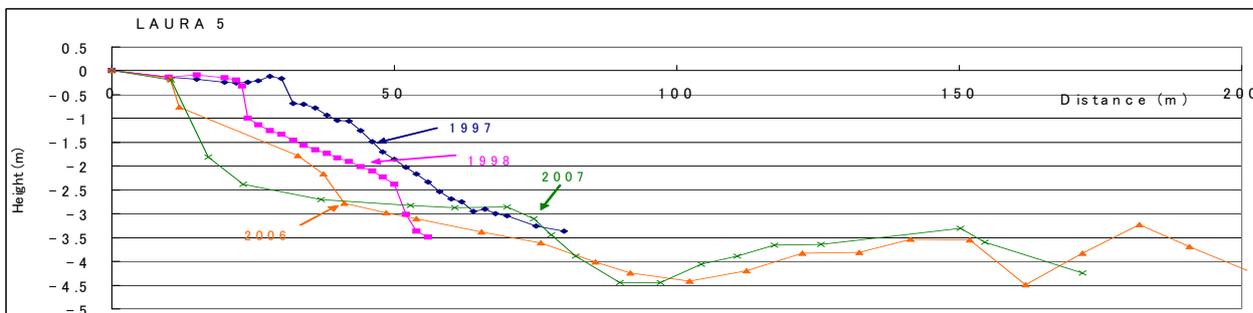


図8 Line 5の測量結果の比較。

(2) マジュロ環礁ローラ島における海浜地形変化調査

図6にローラ島海岸での測量調査の9本の測線の位置を示す。そのうち外洋側に位置する測線 (Line 3) の測量結果を図7に示した。この測線ではサンゴレキが多く、過去10年間ではそれほど大きな変化は見られなかった。なお、測量結果の標高基準 (0m) は各々の測線の起点としている。

図8はローラ島先端部分に位置する測線 (Line 5) の測量結果の比較を示している。この10年間で激しい侵食が生じていることがわかる。この地点はXueの研究<sup>9)</sup>においても大きく侵食しているとされていた地点である。また、現地調査では浜崖の側面部分で樹木の根が露出していることを確認した。海岸断面の比較から、約10年間でおおよそ20m程度汀線が後退していたことが明

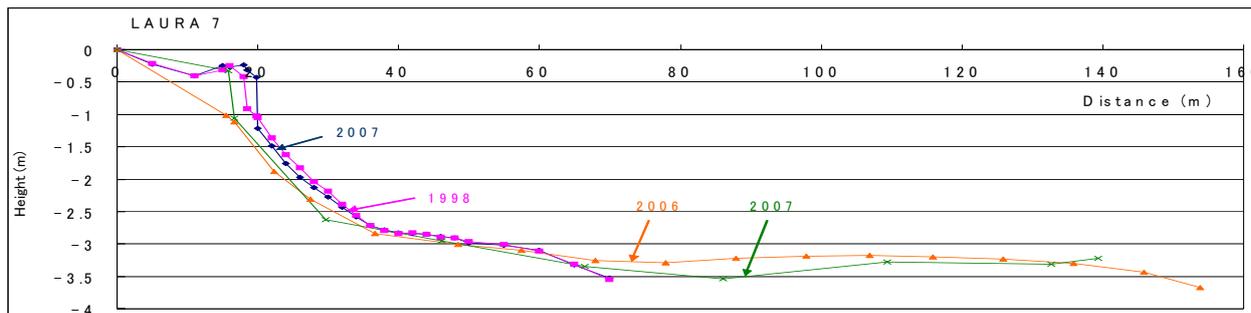


図9: Line 7の測量結果比較

表1 過去10年間における各測線の土砂変化量 \*Line 6は2007年の測量結果に誤差が見られたため、2006年の測量結果をもとに推定。

	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5	Line 6	Line 7	Line 8	Line 9
1997年	101.54	122.24	78.38	65.65	269.01	71.10	77.27	156.51	161.36
2007年	114.38	116.40	71.49	91.46	88.93	—	70.35	163.51	170.55
2007-1997	12.84	-5.84	-6.90	25.81	-180.08	164.06	-6.92	7.00	9.19

らかとなった。

また、図9にはラグーン側海岸に位置する測線 (Line 7) の測量結果を示した。砂浜海岸に位置するこの測線では、先端部 (Line 5) と比較して変化が小さく、若干の侵食が見てとれた。この海岸は砂浜の幅が比較的広く、移動可能な底質が十分存在しているが、変化は小さく、海岸線は安定していると予想される。

各測線における約10年間の土砂変化量を算出した結果を表1に示した。これよりローラ島全域での変化を見てみると、ローラ北端付近 (Line 5、Line 6) での地形変化が非常に大きい。特に先端部分のLine 5で大きく侵食、その少し南側 (Line 6) では大きく堆積となっていた。その他の地点では地形変化量は小さく、外洋側・ラグーン側ともに比較的安定した地形であることがわかる。

(3) 数値モデルによるマジュロ環礁の海岸地形の解析

図10にローラ島海岸線全体の土砂変化量の計算結果を示した。図の横軸はローラ島海岸線の

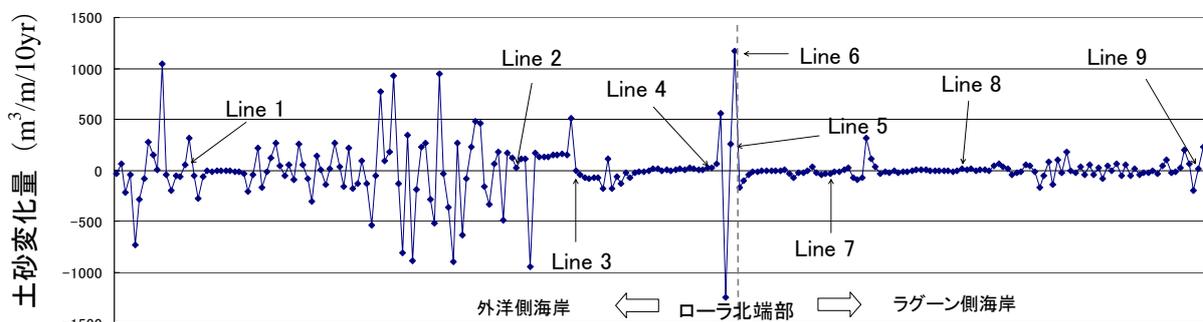


図10 ローラ島における10年間の土砂変化量の計算結果。

表2 測量結果と計算結果から得られた10年間の土砂変化量の比較。

	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5	Line 6	Line 7	Line 8	Line 9
測量結果	12.84	-5.84	-6.90	25.81	-180.08	164.06	-6.92	7.00	9.19
計算結果	49.51	22.88	-3.37	27.35	259.92	1170.77	-12.09	7.77	13.01

計算点に対応しており、図中の測線番号は図6(b)の測線位置を示している。土砂変化量の正の値は堆積を表し、負の値は侵食を表している。外洋側と北端の計算点で大きな地形変化が生じていることがわかる。

表2に2007年の測量結果および1997年の測量結果から算出した10年間の土砂変化量と計算結果との比較を示した。外洋側に位置する測線（Line 1からLine 4）に着目してみるとよい一致が見られるが、Line 2で大きく異なる結果となった。これは現地海岸線の底質が砂ではなく粒径の大きなサンゴレキであることが原因と考えられる。

また、ローラ島北端に位置するLine 5およびLine 6では大きな相違が見られた。この地点のリーフ上では流速計による現地観測結果の解析から、潮汐に伴う流れが非常に強いことが示唆されている<sup>4)</sup>。このため、地形変化を生じさせている主要な外力が異なるため、詳細に地形を考慮しても再現することは困難である。実際のローラ島沿岸部には漂砂を遮る構造物は存在しないことから、土砂は連続性を持って移動すると考えるのが自然だが、波浪が主要な外力となっている地点と潮汐流が主要な外力となっている地点が存在していることが予想される。

ラグーン側（Line 7からLine 9）について見てみると、非常に良い精度で計算されていることがわかる。これは底質が砂であるラグーン側海岸線では、沿岸漂砂を算定することで精度よく地形変化を計算可能であることを示し、この知見は沿岸漂砂が主要な地形変化要因であったXue<sup>9)</sup>の研究とも合致するものである。

全体的に、外洋側・ラグーン側共に底質が砂である海岸線では地形変化を精度よく計算することが可能であり、それは10年間という比較的長期間の地形変化においても有効な手段であることが確認された。

（4）マジュロ環礁を対象とした沿岸域ゾーニング図の作成

1) ゾーニング区分の定義

まず、沿岸部の土地被覆を対象として、沿岸部の防護の観点における植生の寄与に着目した。その他植生の根茎により侵食が抑えられていた現状を考慮し、該当植生が沿岸部に分布する地域を「緑地保全地区」とした。また、陸域沿岸部にココヤシが存在する地域は、防護への寄与および侵食による倒壊が見受けられる現状を考慮し、対策の重要度が高いと判断した。このため、「対策優先地区」のレベルが高いとした。この防護策区分に基づき、波力による移動に対する抵抗力は砂よりレキが高いという観点のもと、表3に示すゾーニング項目を設定した。この項目に従い、土地被覆情報および地盤高さ情報を組み合わせ、図11に示すゾーニング図を作成した。

表3 ゾーニングの項目。

土地被覆情報	地盤高さ情報		ゾーニング図		
	汀線近傍	陸域沿岸部	防護策区分	防護レベル	図内描画番号
砂浜	砂浜	小	対策優先地区	レベル5	⑤
	砂浜	中	対策優先地区	レベル6	⑥
	レキ	中	対策優先地区	レベル7	⑦
	レキ	大	対策優先地区	レベル8	⑧
	ココヤシ	小	対策優先地区	レベル1	①
	ココヤシ	中	対策優先地区	レベル2	②
	その他植生	小	緑地保全地区	レベル1	⑩
	その他植生	中	緑地保全地区	レベル2	⑪
構造物		対象外のクラス(ローラ地区)			
レキ	砂浜		対象外のクラス(ローラ地区)		
	レキ	大	対策優先地区	レベル9	⑨
	ココヤシ	中	対策優先地区	レベル3	③
	ココヤシ	大	対策優先地区	レベル4	④
	その他植生	中	緑地保全地区	レベル3	⑬
	構造物		対象外のクラス(ローラ地区)		

2) ローラ地区の特徴

地区全体として植生は多いが、沿岸域全域で対策優先地区が多く分布している。ラグーン側

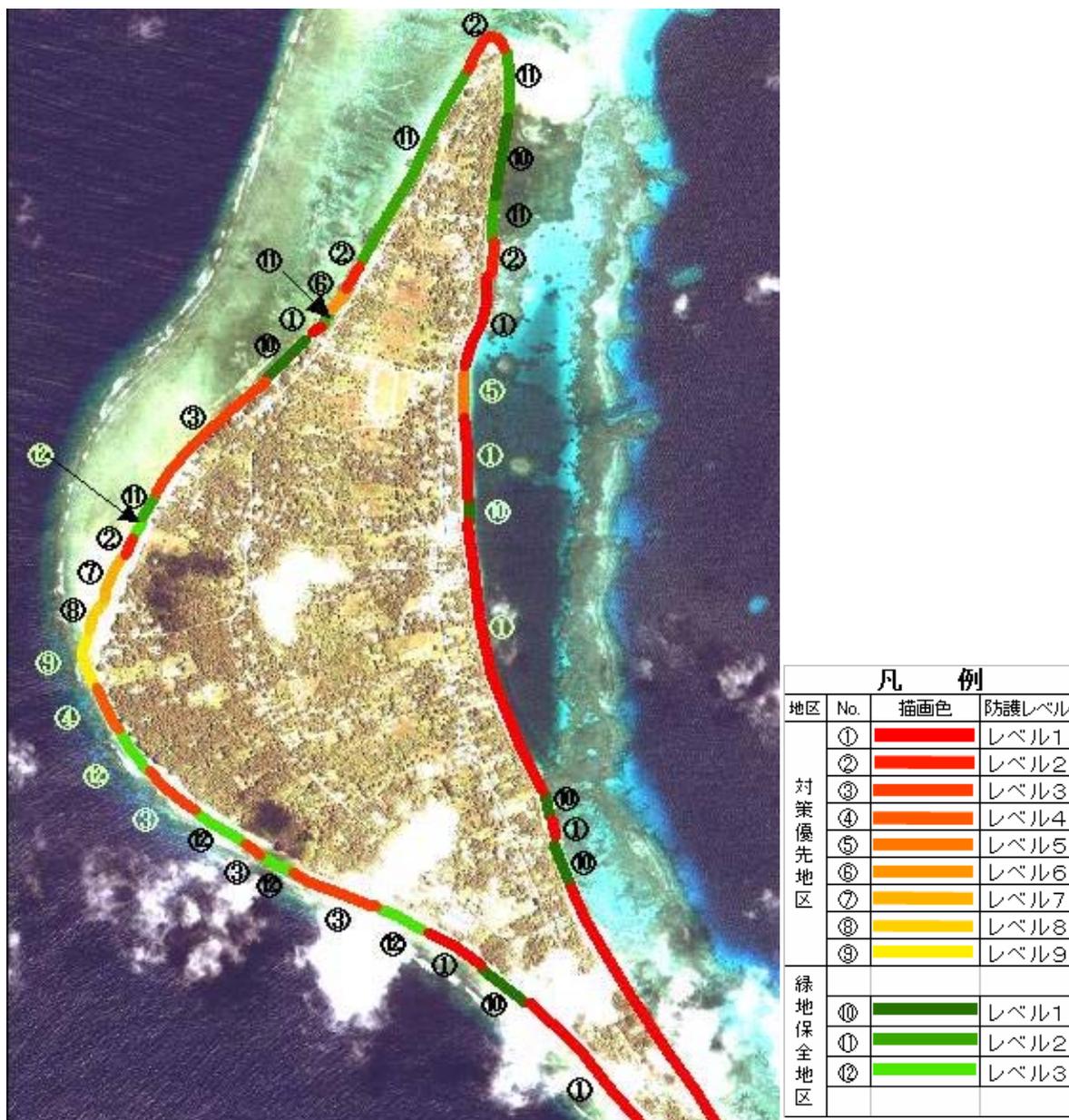


図11 ゾーニングマップ(ローラ地区)。

では対策を優先させる箇所(凡例①、②)が多い。地区先端部近傍に見受けられる緑地保全地区(凡例⑩、⑪)では、現状の植生を保護していくことが国土の保全に繋がると考える。しかし、先端部では対策優先度の高い区域(凡例②)が存在するため、優先的に防護策を策定する必要性が伺える。外洋側は、中央部に行くにつれて対策優先度の低い地区(凡例⑦～⑨)が分布している。この周辺はレキが多く分布している、もしくは高低差の高い地区である。この地区は早急な対策は必要ないと考え。外洋側南部は、緑地保全地区(凡例⑩、⑫)と対策優先度の高い地区(凡例①、③)が散布している。優先度の高い地区には植樹等を行なうことで防護力の向上が望めると考える。以上の特徴を整理すると、ローラ地区の国土保全の方向性として下記の案が提案できる。

防護：植生を活かした沿岸域の侵食対策

環境：地域の貴重な資源であるココヤシの現状維持、その他の植生の維持

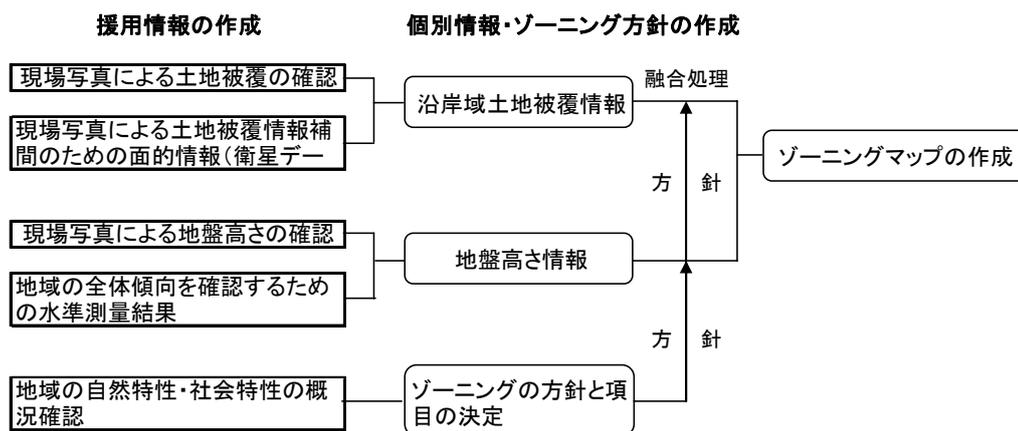


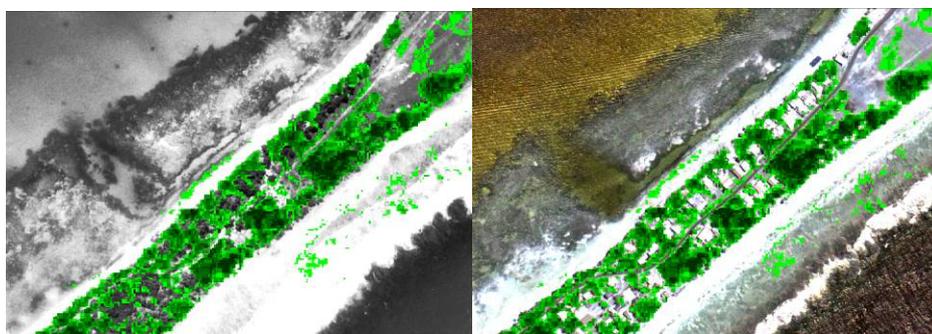
図12 ゾーニングマップ作成の流れ。

利用：植生による伝統的な沿岸域景観の保全

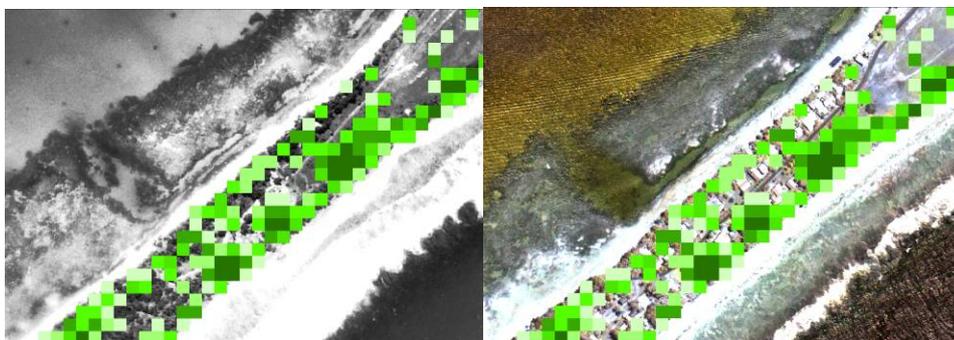
以上、情報の収集からゾーニングマップ作成までの手順を整理すると、図12に示すフローに整理することができる。地盤高さおよび土地被覆の現況等、国土の基盤となる情報が必ずしも事前に十分に入手できない地域における情報生成プロセスの一つとして提案するものである。

#### (5) ツバル国フォンガファレ島を対象とした沿岸植生環境の分析

図13に、NDVI画像、緑被率画像および現地写真を示す。なお、紙面の都合上、島南西部の拡



(1) NDVI画像（背景画，左：1984年空中写真，右：2004年衛星画像）



(2) 緑被率画像（背景画，左：1984年空中写真，右：2004年衛星画像）

図13 沿岸植生の変遷。

大画像を掲載した。現地調査による緑地減少確認のポイントは、人間の居住区として従来利用されてこなかった北部と南西部の宅地化の進行であった。南西部では、島嶼部断面約100mを横断する形で宅地や造成地およびココヤシが分布している。しかし、図で確認できるように、各所において沿岸植生が伐採され、宅地化が進んでいる（矢印地点）。このような人為による沿岸植生の減少が進むことは、今後進むことが予測されている海岸侵食や、台風などの風・高波浪による災害からの防護機能低下に繋がるものと言える。ここで、緑被率画像に注目する。この図を見ると、空港南部から州島先端方向に、緑被率50%未満の地域が分布している。特に、ラグーン側海岸に注目すると、緑地の連続性が低いことが確認できる。背景画像を確認すると、1984年に植生域であった箇所が宅地に変化していることが確認できる。現地では船着場や宅地の庭として使用されており、宅地開発に伴う影響、いわゆる人為による沿岸植生の減少傾向を見て取ることができた。

## 5. 本研究により得られた成果

### (1) 科学的意義

マジュロ環礁における現地調査により、ローラ島における過去10年間の地形形状の推移を明らかにできた。また、汎用的な波浪変形モデル、漂砂移動・地形変化モデルを用いてこの地形変化を再現することができた。これらのことから、海面上昇に伴う将来の地形変化を推定できることが分かった。

ツバル国フォンガファレ島を対象として、沿岸植生が離散的に減少傾向にあることを示した。気候変動に対する耐力低下の一つの要因になることが指摘できた。

マーシャル共和国マジュロ環礁ローラ地区をテストケースとして、国土防護のためのゾーニング図作成プロセスを提案した。陸域と汀線近傍のみに注目したものであるが、ゾーニング図に基づく海岸管理計画の重要性を指摘した。

### (2) 地球環境政策への貢献

現地調査期間中に、現地の環境保護局のメンバーと、我々の研究計画およびマジュロでの環境保全策についての議論を行った。本プロジェクトからは、波浪場・流れ場の精度良いモデル化やモニタリング、そして土地被覆や沿岸域の環境情報を用いて、より効果的な適応策を検討・実施していく必要があるとの発表を行った。それに対して、環境保護局は、将来の環境保全より現在の環境問題（水質、ゴミ、エネルギー）の方が重要（喫緊）な課題であるとの発言があった。しかし、一方で将来の問題も、現在検討中の環境保全計画に取り込みながら検討していかなければならないとの認識も示された。

2008年に東京大学小柴ホールで開催された「Atoll Island Workshop」にローラ地区ゾーニングの結果を報告したところ、現地環境局（EPA）政策担当者より、管理計画の策定の上で重要な情報であるとの指摘を頂いた。このため、本研究計画の成果が、他のAtollへの応用利用も望めると考え、環境政策への貢献と考えている。

## 6. 引用文献

(1) SOPAC: Re-survey of Dud and Laura Beach Profiles Majuro Atoll, Republic of the Marshall

- Islands, SOPAC Preliminary Report, No. 93, APPENDIX1 Beach Profile Data, 1998.
- (2) Kayanne, H., M. Chikamori, H. Yamano, T. Yamaguchi, H. Yokoki, and H. Shimazaki: Interdisciplinary approach for sustainable land management of atoll islands, *Global Environmental Research*, 9, 1-7, 2005.
- (3) Yamano, H., H. Kayanne, and M. Chikamori: An overview of the nature and dynamics of reef islands, *Global Environmental Research*, 9, 9-20, 2005.
- (4) 佐藤大作, 横木裕宗, 藤田和彦, 桑原祐史, 山野博哉, 島崎彦人, 茅根創, 渡邊真砂夫: 海面上昇後のマーシャル諸島マジユロ環礁における地形維持過程の数値シミュレーション, *海岸工学論文集*, 第53巻, pp.1291-1295, 2006.
- (5) Booij, N. R., R. C. Ris and L. H. Holthuijsen: A third-generation wavemodel for coastal regions, Part I, Model description and validation, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, No. C4, pp.7649-7666, 1999.
- (6) Komar, P. D. and D. L. Inman: Longshore sand transport on beaches, *Journal of Geophysical Research*, 30, pp. 5914-5927, 1970.
- (7) Vrabel, Jim: Multispectral Imagery Band Sharpening Study, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.62, No.9, pp.1075-1083, 1996.
- (8) Yamano, H., H. Shimazaki, T. Matsunaga, A. Ishoda, C. McClennen, H. Yokoki, K. Fujita, Y. Osawa, H. Kayanne: Evaluation of various sensors for satellite for waterline extraction in a coral reef environment: Majuro Atoll, Marshall Island, *Geomorphology* 82, Vol. 82, pp.398-411, 2006.
- (9) Xue, C.: Coastal erosion and management of Majuro Atoll, Marshall Islands, *Journal of Coastal Research*, 17, 4, pp.909-918, 2001.

## 7. 国際共同研究等の状況

本研究の遂行に当たり、マーシャル諸島共和国やツバル国の政府内の環境関連部署の担当者との情報交換を密に行い、2005年の調査では、マーシャル諸島共和国の大統領、外務大臣、環境大臣と面談し、意見を交わすことができた。これらの活動を通じて、こちらの研究計画を理解してもらおうと同時に、調査研究への要望を聴取した。また、2008年2月にはマジユロの環境政策担当者を他の専門家とともに、本研究計画が主催するワークショップへ招待し、様々な角度から議論を行った。

現地政府としては、温暖化・海面上昇への危惧は感じているものの、喫緊の課題は廃棄物処理や沿岸域の水質悪化と漁業資源への影響、都市域の居住環境悪化の問題であるということであったが、今後も引き続き協力関係を維持し、気候変動と同時に現在の環境問題の両方を解決できるような適応策を提案していく予定である。

## 8. 研究成果の発表状況

### (1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 横木裕宗, 佐藤大作, 山野博哉, 島崎彦人, 安藤創也, 南陽介, 高木洋, 茅根創,

- Ishoda, A.: 環礁州島における地形維持機構とラグーン内波浪場の関係に関する現地調査. 海岸工学論文集, **51**, 1381-1385 (2004).
- 2) Kayanne, H., Chikamori, M., Yamano, H., Yamaguchi, T., Yokoki, H. and Shimazaki, H.: Interdisciplinary approach for sustainable land management of atoll islands. *Global Environmental Res.*, **9**, 1-7 (2005).
  - 3) Yokoki, H., Yamano, H., Kayanne, H., Sato, D., Minami, Y., Ando, S., Shimazaki, H., Yamaguchi, T., Chikamori, M., Ishoda, A., and Takagi, H.: Comparison between longshore sediment transport due to waves and long-term shoreline change in Majuro Atoll, Marshall Islands. *Global Environmental Res.*, **9**, 21-26 (2005).
  - 4) Yamaguchi, T., Kayanne, H., Yamano, H., Najima, Y., Chikamori, M., and Yokoki, H.: (2005) Excavation of pit agriculture's landscape on Majuro Atoll, Marshall Islands, and its implications. *Global Environmental Res.*, **9**, 27-36.
  - 5) Yamano, H., Shimazaki, H., Kayanne, H., Yokoki, H., Yamaguchi, T., Chikamori, M., Tamura, M., Murase, T., Suzuki, Y., Itou, K., Hirose, M., Sano, S., Takagi, H., Watanabe, M., Akimoto, F., Watanabe, S., Yoshii, S., Ishoda, A., Leenders, N., and Forstreuter, W.: (2005) Efforts to generate maps of atoll countries. *Global Environmental Res.*, **9**, 37-46.
  - 6) Shimazaki, H., Yamano, H., Yokoki, H., Yamaguchi, T., Chikamori, M., Tamura, M., Kayanne, H.: (2005) Geographic database on the natural and socioeconomic conditions of reef islands. *Global Environmental Res.*, **9**, 47-55.
  - 7) Yamano, H., Shimazaki, H., Matsunaga, T., Ishoda, A., McClennen, C., Yokoki, H., Fujita, K., Osawa, Y., and Kayanne, H.: Evaluation of various satellite sensors for waterline extraction in a coral reef environment: Majuro Atoll, Marshall Islands. *Geomorphology*, **82**, 398-411 (2006).
  - 8) Yamaguchi, T., Chikamori, M., Kayanne, H., Yamano, H., Yokoki, H., and Najima, Y.: Conditions and activities supporting early prehistoric human settlement on Majuro Atoll in Marshall Islands, Eastern Micronesia. *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium*, 1549-1555 (2006).
  - 9) Yamano, H., Yamaguchi, T., Chikamori, M., Kayanne, H., Yokoki, H., Shimazaki, H., Tamura, M., Watanabe, S., and Yoshii, S.: Satellite-based typology to assess stability and vulnerability of atoll islands: a comparison with archaeological data. *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium*, 1556-1566 (2006).
  - 10) Yokoki, H., Yamano, H., Kayanne, H., Sato, D., Shimazaki, H., Yamaguchi, T., Chikamori, M., Ishoda, A., and Takagi, H.: Numerical calculations of longshore sediment transport due to wave transformation in the lagoon of Majuro Atoll, Marshall Islands. *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium*, 1570-1576 (2006).
  - 11) Shimazaki, H., Yamano, H., Yokoki, H., Yamaguchi, T., Chikamori, M., Tamura, M., and Kayanne, H.: Global mapping of factors controlling reef-island formation and

maintenance. *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium*, 1577-1584 (2006).

- 12) 佐藤大作, 横木裕宗, 藤田和彦, 桑原祐史, 山野博哉, 島崎彦人, 茅根創, 渡邊真砂夫: 海面上昇後のマーシャル諸島マジュロ環礁における地形維持過程の数値シミュレーション. 海岸工学論文集, **53**, 1291-1295 (2006).
- 13) Yamano, H., Kayanne, H., Yamaguchi, T., Kuwahara, Y., Yokoki, H., Shimazaki, H., and Chikamori, M.: Atoll island vulnerability to flooding and inundation revealed by historical reconstruction: Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu. *Global and Planetary Change*, **57**, 407-416 (2007).
- 14) 桑原祐史, 横木裕宗, 佐藤大作, 三村信男: マジュロ環礁を対象とした国土防護のための沿岸域ゾーニングプロセス. 土木情報利用技術論文集, **16**, 91-98 (2007).

<その他誌上発表 (査読なし) >

- 1) 横木裕宗: 気候変動・海面上昇が環礁州島の地形維持機構に与える影響—マーシャル諸島マジュロ環礁における現地調査—. 南太平洋海域調査研究報告, **47**, 11-17 (2007).
- (2) 口頭発表 (学会)
- 1) Yokoki, H., Yamano, H., Kayanne, H., Sato, D., and Minami, Y.: Numerical calculations of wave transformation in the lagoon of Majuro Atoll, Marshall Islands for estimating the natural topographic change processes due to waves and currents. 10th International Coral Reef Symposium, Okinawa, June-July, 2004; (Abstract, 179).
  - 2) 横木裕宗, 桑原祐史, 林利一, 佐藤孝一, 三村信男: Majuro環礁における持続可能な国土利用に向けての現地調査. 第14回地球環境シンポジウム講演論文集, 241-246 (2006).
  - 3) Yokoki H., Hayashi T., Kuwahara Y., Sato D., Yamano H., Kayanne H., Watanabe M.: Field survey and numerical calculation on beach profile changes around Laura Islet, Majuro Atoll, the Marshall Islands. 21st Pacific Science Congress, Okinawa, June 2007; (Abstracts, 207).
  - 4) Sato D., Yokoki H., Kuwahara Y., Fujita K., Osawa Y., Yamano H., Kayanne H., Watanabe M.: Numerical calculation of the change of waves and longshore sediment transports due to the sea-level rise on Majuro Atoll, the Marshall Islands. 21st Pacific Science Congress, Okinawa, June 2007; (Abstracts, 207)
  - 5) Kuwahara Y., Yokoki H., Sato D., Yamano H., Kayanne H., Yamaguchi T., Sato K., Watanabe M.: Zoning map based on field surveying of vegetation and land use on Majuro Atoll, the Marshall Islands. 21st Pacific Science Congress, Okinawa, June 2007; (Abstracts, 208).
  - 6) 桑原祐史, 横木裕宗, 滑川卓也, 佐藤大作, 林利一, 三村信男: Majuro環礁における国土の防護を目的としたゾーニングプロセスの構築. 第15回地球環境シンポジウム講演論文集, 129-133 (2007).

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもので国際ワークショップ・シンポジウムのみ）

- 1) 第10回国際サンゴ礁シンポジウム（2004年6月28日～7月2日、沖縄コンベンションセンター）において、「サンゴ礁と地球規模変動」に関する7つの一連のセッションを主催した。これとは別に「環礁における地形-人間相互作用」を主催した。
- 2) 第21回太平洋学術会議（2007年6月13-17日、沖縄コンベンションセンター）において、セッション「環礁における地形-人間相互作用」を主催した。
- 3) 「環礁州島からなる島嶼国の持続可能な国土の維持」（2008年2月2日、東京大学小柴ホール、参加者約100名）。

(5) マスコミ等への公表・報道等

- 1) 朝日新聞（2007年3月19日、全国版朝刊）「温暖化の波 沈むツバル」。
- 2) 朝日新聞（2007年4月9日、全国版夕刊）「地球異変-南太平洋の島々から-1 平らな島 迫る海」（連載全体にわたって情報提供）。
- 3) 朝日新聞（2008年3月12日、夕刊、「南の島 人の活動で危機」）

(6) その他

なし。

## 付 録

### B-15 環礁州島からなる島嶼国の持続可能な国土の維持に関する研究

本課題では、研究期間中3回国際ワークショップや国際シンポジウムにおけるセッションを主催している。2004年には、第10回国際サンゴ礁シンポジウム（2004年6月28日～7月2日、沖縄コンベンションセンター）において、「サンゴ礁と地球規模変動」に関する7つの一連のセッションと「環礁における地形-人間相互作用」を主催した。2007年には、第21回太平洋学術会議（2007年6月13-17日、沖縄コンベンションセンター）において、セッション「環礁における地形-人間相互作用」を主催した。

研究期間最後の2008年には、全体の総まとめとして、海外から6名の研究者、環境施策担当者を招へいして、「環礁州島からなる島嶼国の持続可能な国土の維持」（2008年1月31日～2月2日、東京大学小柴ホール、参加者約100名）を開催し、2日間の専門家ワークショップと1日間の公開シンポジウムを行い、本研究を国際的な評価してもらおうとともに、提言をまとめることができた。ここでは付録として、この国際ワークショップ・シンポジウムのプログラムと、提言を採録する。

#### （1）プログラム

日時：2008年1月31日（木）・2月1日（金）専門家会合、2月2日（土）公開シンポジウム

場所：東京大学理学部（公開シンポジウムは、理学部1号館小柴ホール）

1月31日（木）・2月1日（金）ワークショップ（専門家会合）

場所：理学部1号館205会議室

出席者

環礁州島プロジェクト関係者：茅根 創（東京大）、山野博哉（国立環境研）、山口 徹（慶應大）、横木裕宗、桑原祐史（茨城大）、藤田和彦（琉球大）、島崎彦人（国立環境研）、近森 正（慶應大）、棚橋 訓（お茶の水大）、鶴田治雄（P.O.）、松本幸雄（P.O.）。

学生：安河内貫、大澤葉子（東京大）、佐藤大作（茨城大）。

助言者：三村信男（茨城大）、小西健二（金沢大）。

招へい者：Colin Woodroffe（ウォロンゴン大）、Marshall Weisler（クインズランド大）、Paul Kench（オークランド大）、Arthur Webb（太平洋応用地球科学委員会）、John Bungitak（マーシャル諸島共和国環境保全局）、Scott Fitzpatrick（ノースカロライナ州立大）、谷口真人（地球環境研）、梅沢 有（地球環境研）

オブザーバー：渡辺真砂夫・秋元不二雄（芙蓉海洋）、眞岩一幸・中島明里・福島朋彦（海洋政策研究財団）。

・以下の4つのテーマについて、それぞれ2名の担当者がしきって、テーマに関わる研究者の発表を中心に議論を進める。

- ・最後に総括テーマについて全員で議論して、これまでにわかっていることと、まだ不明なことをまとめ、提言をまとめる。
- ・シンポジウムでは、各テーマについて40分の発表を行う。構成は、各担当者が決める。

テーマ1「環礁州島における地形・生態プロセス」Woodroffe・茅根

発表者：Woodroffe、茅根、Kench、山野、藤田

テーマ2「環礁州島における人間居住」Weisler・山口

発表者：Weisler、山口、Fitzpatrick

コメント「環礁州島の地形形成と考古学」近森

コメント「IPCCにおける島嶼国の適応策」三村

テーマ3「環礁州島における海岸線変化」Kench・横木

発表者：Kench、横木、桑原、Webb

テーマ4「環礁州島に働く諸過程の統合化と現地適用」Webb・山野

発表者：Webb、山野、島崎、桑原、Bungitak

総括テーマ「環礁州島の持続可能な国土の維持に向けて」

2月2日（土）13時～17時 公開シンポジウム

「環礁州島からなる島嶼国の持続可能な国土の維持」

場所：東京大学理学部1号館小柴ホール

参加費・事前登録等不要。

はじめに 近森 正（慶應大）

13:10-13:50「環礁州島における地形・生態プロセス」

Colin Woodroffe\*（ウォロンゴン大）、茅根 創\*（東京大）、Paul Kench（オークランド大）、山野博哉（国立環境研）、藤田和彦（琉球大）

13:50-14:30「環礁州島における人間居住」

Marshall Weisler\*（クインズランド大）、山口 徹（慶應大）\*、Scott Fitzpatrick（ノースカロライナ州立大）、棚橋 訓（お茶の水大）、近森 正（慶應大）

（14:30-14:50 コーヒーブレイク）

14:50-15:30「環礁州島における海岸線変化」

Paul Kench\*（オークランド大）、横木裕宗（茨城大）\*、桑原祐史（茨城大）、Chip Fletcher（ハワイ大）、Arthur Webb（太平洋応用地球科学委員会）

15:30-16:10「環礁州島に働く諸過程の統合化」

Arthur Webb\*（太平洋応用地球科学委員会）、山野博哉\*（国立環境研）、島崎彦人（国立環境研）、桑原祐史（茨城大）、John Bungitak（マーシャル諸島共和国環境省）

16:10-17:30 パネルディスカッション・総合討論

「環礁州島の持続可能な国土の維持に向けて」

適応と対策（茅根・Weisler）、現地への適用（山野・Webb）、環礁の水資源（谷口、梅沢）

ほか、

(\* は各発表の責任者を示す)

おわりに 小西健二 (金沢大)

ポスターセッション (小柴ホール前ホワイエ・小柴ホール会議室)

ハザードマップ、環礁州島プロジェクトの成果を、ポスターで展示する。

終了後 懇親会 (小柴ホール前ホワイエ)

問い合わせ先：東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻 茅根 創

## (2) 提言

### 環礁州島の持続可能な国土の維持のための提言

ワークショップ「環礁州島の持続可能な国土の維持」参加者一同

(2008年2月2日、東京大小柴ホール、主催：東京大・環境研；後援；環境省)

環礁州島は、気候変動（海面上昇だけでなく、暴風の強度・頻度の変化、水温上昇、酸性化、降水量変化など）と人間活動によって危機にある。環礁州島は、限られた面積と資源を持つ低平な島である。我々の研究によれば、環礁州島はその地形や文化に大きな多様性をもっている。

地形や生態の地理的多様性をより深く理解することによって、環礁州島システムとそれを基盤とする地域社会の適応能力を高めることができる。地形変化モデル、地形と人間の相互作用、堆積物収支だけでなく、水資源、汚染、ゴミ問題など、未解明の問題に対する調査が必要である。

我々は、現在の景観と環境危機が人間と環境の相互作用の歴史的な結果であること、環境のストレスとそれに対する適応能力が、人間活動の小さな州島と、大きな州島とで異なることを理解しなければならない。環境保持力をこうした要因に基づいて見積もることによって、州島の脆弱性を見積もることができる。

また、こうした成果を、トップダウン、ボトムアップ両面から普及しなければならない。

ワークショップ参加者

茅根 創（東京大）、山野博哉、島崎彦人（国立環境研）、山口 徹（慶應大）、横木裕宗、桑原祐史（茨城大）、藤田和彦（琉球大）、棚橋 訓（お茶の水女子大）、谷口真人（地球環境研）、梅沢 有（地球環境研）、近森 正（慶應大）、三村信男（茨城大）、小西健二（金沢大）、

Colin Woodroffe（ウォロンゴン大、オーストラリア）、Marshall Weisler（クインズランド大、オーストラリア）、Paul Kench（オークランド大、ニュージーランド）、Arthur Webb（太平洋応用地球科学委員会、フィジー）、John Bungitak（マーシャル諸島共和国環境保全局）、Scott Fitzpatrick（ノースカロライナ州立大、米国）。

## Recommendation for Sustainable land management of atoll islands

Participants of workshop “Sustainable land management of atoll islands”

Atoll islands are threatened by climate changes (not only sea level rise but also changes in storm intensity and frequency, sea surface temperature rise, ocean acidity, rain fall and so on) and human impacts. Atoll islands are low-lying with small areas and limited resources. Our scientific studies have found that they support considerable physical and cultural diversity.

A better understanding of the geographical variation in geomorphological and ecological processes offers the potential to increase the adaptive capacity of atoll island systems and the communities that depend upon them. There is a need for research on unresolved issues on modeling island landform, land-human interactions, sediment budget as well as water resources, pollution and garbage problems.

We need to recognize that present landscapes and many existing environmental challenges are a historical product of interaction between humans and the environment. We also need to recognize that environmental stresses and necessary adaptive responses will be significantly different in rural (low human population) and urban (high impact) settings. Estimation of carrying capacity of islands based on the above factors is helpful to estimate the vulnerability of the islands. We need to enhance public awareness both from top-down and from bottom-up directions.

Participants:

Hajime Kayanne\*, (Univ. Tokyo), Hiroya Yamano\*, Hiroto Shimazaki (National Inst. Environmental Studies), Toru Yamaguchi\*, Masashi Chikamori (Keio Univ.), Hiromune Yokoki\* (Ibaraki Univ.), Kazuhiko Fujita (Univ. Ryukyus).

Colin Woodroffe (Univ. Wollongong, Australia), Marshall Weisler (Univ. Queensland, Australia), Paul Kench (Univ. Auckland, New Zealand), Arthur Webb (SOPAC, Fiji), John Bungitak (EPA, Republic of Marshall Islands), Scott Fitzpatrick (North Carolina State Univ.), Makoto Taniguchi, Yu Umezawa (Res. Inst. Humanity Nature, Japan).

Nobuo Mimura (Ibaraki Univ.), Kenji Konishi (Kanazawa Univ.).