

論文

マーシャル諸島共和国マジュロ環礁を対象とした国土防護のための  
対策優先地区選定方法の提案  
Proposal of the selection method of a priority region for land protection  
on Majuro atoll, Marshall islands

江田雄樹\*・桑原祐史\*\*・佐藤大作\*\*\*・藤田昌史\*\*\*\*・横木裕宗\*\*\*\*\*

Yuki EDA, Yuji KUWAHARA, Daisaku SATO, Masafumi FUJITA and Hiromune YOKOKI

**要旨:** 南太平洋島嶼国には多くの環礁州島が存在する。環礁州島は、古い時代に成長したサンゴの化石の上に、主として有孔虫の外殻および破碎されたサンゴレキが堆積し生成した島である。このため、水や豊かな耕地等、生活源となる資源が乏しいことに加え、樹木、骨材(レキや砂)および水等、建設資材も乏しい。気候変動に伴い海面が上昇することにより、環礁州島では海岸侵食が顕著になることが懸念されているが、島が有する建設資材が少ないという点からも、海岸植生を応用した適応策が重要と考えられる。つまり、侵食の危険性が高い地域から優先的に対策を施すことにより、人的、資源的等、限られた島の資源をより有効に扱った対策になると言える。本研究では、調査規模を削減する点も考慮に入れ、衛星画像等上空から島を俯瞰したデータと現地調査写真を組み合わせ、沿岸域を構成する植生・被覆・地形の特徴と海岸侵食との関係から侵食のレベルを推定する評価式を導くことを試みた。検討の結果、マジュロ環礁ローラ地区に対する対策優先地区を提案した。加えて、州島形成メカニズムが大きく異なる地域での適用には課題が残る点を示した。

**キーワード:** 環礁州島, 海岸侵食, 適応策, 地理情報

## 1. はじめに

IPCC 第4次報告書によると、2000年から2100年の間に最大59cmの海面上昇が起りうる事が報告されている<sup>1)</sup>。環礁州島のサンゴ礁では、リーフが溺れない程度の海面上昇のペースは100年で40cm程度であると言われており<sup>2)</sup>、IPCCによる100年間に59cmの海面上昇量は、サンゴの生育速度をはるかに超える速度になる。このため、海面上昇に伴う海岸侵食が顕著になることに加えて、サンゴとその周辺に生息する生物の生息環境に影響が及ぶ懸念がある。

本研究で対象とする環礁州島とは、環状のサンゴ礁上に低平な州島が形成されたものであり、中央部には外洋と比べて水深の浅いラグーンが分布

している。海浜や背後の海岸砂丘を構成するレキの多くはサンゴレキの破片または貝殻片であり、砂の多くは生物の骨格や外殻の細片であり石灰質である。砂のうち、主要部分を占めるものは有孔虫の外殻である<sup>3)</sup>。また、島の土地利用は、淡水レンズと呼ばれる地下水を利用するタロイモ畑を中心として、塩分に弱い種から塩分耐性のある種に向かって、島の中心から同心円的に分布している。古くは自給生活が営まれていたが、近年の都市化に伴い、自然環境の変化や地域コミュニティの希薄化に伴う人的自然管理システムの崩壊、造成工事に伴う海岸植生喪失や海岸侵食の顕在化、といった諸問題が発生している<sup>4)</sup>。

このような中、マーシャル諸島共和国(Republic

\*非会員 守谷市役所, \*\*正会員 茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター, \*\*\*正会員 茨城大学 産学官連携研究員  
\*\*\*\*非会員 茨城大学 工学部 都市システム工学科, \*\*\*\*\*正会員 茨城大学 工学部 都市システム工学科

of the Marshall Islands)マジロ環礁(Majuro Atoll)では、多くの南太平洋島嶼国と同様に、海面上昇による海岸侵食が危惧されている。共和国の首都であるマジロ環礁では、首都への人口集中が生じているため、沿岸部に新たな宅地を造成することに伴う人為的な海岸侵食も発生している。建設資材となる「淡水、レキ、砂」といった資源も少なく、対策の方法や規模について環礁州島ならではの工夫が必要と言える。

Xue(2001)の研究によると、マジロ環礁では第二次世界大戦後50年間に州島の都市化が進み、リーフの掘削や港の建設が行われたことにより、漂砂移動が変化、海岸侵食が起こったことが明らかにされた<sup>5)</sup>。横木ら(2004)は、マジロ環礁における現地調査と波浪場の算定を行い、1940年から2000年の間におけるマジロ環礁の侵食・堆積傾向を図化した<sup>6)</sup>。佐藤ら(2005)は<sup>7)</sup>、ローラ(Laura)島にてSOPAC(太平洋諸島応用地球科学委員会)が1997,1998年に測量を行った同一測線を測量し<sup>8),9)</sup>、侵食傾向にある地点を確認している。桑原ら(2008)は、ローラ島を対象とした沿岸域防護のためのゾーニング図作成法について検討を行ってきた。沿岸域の地理情報を10mメッシュで生成し、汀線近傍と後背地の被覆条件に基づき、対策のプライオリティを示したゾーニング図を示した<sup>10),11)</sup>。

本研究は、以上の成果を応用し、環礁州島の国土の防護対策を計画する際に、侵食の推定レベルに基づき対策優先順位を評価する手順の提案を目指した。具体的には、沿岸域を構成する植生・被覆・地形の特徴と海岸侵食の有無の関係から侵食のレベルを推定する評価式を導き、その適用性と汎用性を検討した。

## 2. 研究の目的

衛星画像・空中写真等、沿岸域を俯瞰したデー

タおよび現地調査写真より、沿岸域の被覆に関する地理情報を準備し(説明変数)、海岸侵食の傾向を目的変数とし、重回帰分析によって評価式を求め、その適用性と汎用性を検証することを目的とした。この目的を達成するための解析目標は以下の3点である。

① 伝統的な自然環境および居住環境が残っているマジロ環礁ローラ島を対象として、沿岸域の植生・土地被覆・地形の各地理情報(100mメッシュ)を生成する。

② ローラ島沿岸域の被覆に関する地理情報を説明変数とし、沿岸侵食・堆積に関する調査結果を目的変数とした重回帰式を求める。

③ 侵食・堆積の傾向が明らかな地点のデータを用いて、ローラ島での評価式の適用性を確認する。次に、島の形成形態の異なる地域を評価対象として、手順の汎用性について展望をまとめる。

## 3. 対象領域と使用データの諸元

### 3.1 対象領域

対象領域は、図-1に示すマジロ環礁の西部に広がるローラ島を選定した。ローラ島はマジロ



図-1 マーシャル諸島共和国マジロ環礁

環礁で最も人類居住の歴史が長いと言われており、2000年前には人類居住があったとされる。マジュロ環礁において最も陸地面積が広く、かつ、高密度の樹林に覆われた地域である<sup>12)</sup>。また、評価式の検証エリアは隣接するロングアイランド(LongIsland)地区を対象とした。ロングアイランド地区は、ローラ地区と都市化が進んでいるウリガ・リタ(Uriga/Lita)地区へ繋がる全長約38kmの地区であり、島の幅は最大でも200m程度である。点在していた島を埋立により結んだ人工的な陸域であり、一部は飛行場や貯水槽に使われている。以上、自然環境が残る地域と人工改変が顕著な地域の2地域を取り上げた。

### 3.2 使用データ

使用した衛星画像および空中写真を表-1に示す。地物の面積・位置の変量把握や異種データ間の演算を行う際には、位置情報の統一が重要である。本研究では、IKONOS衛星画像(2000年観測)を基準として、1970年および1983年に撮影された空中写真の精密幾何補正(地上基準点を用いた補正)を施した。分解能の最も良い空中写真を基準にして補正することも考えられるが、隣接する写真間に一部不連続部があり、かつ、その位置が1970年と1983年で異なっている。更に、1970年の写真はモノクロであり、判読に注意を要する地点もある。以上の点を考慮し、対象領域全域が一様に撮影されているIKONOS衛星画像を基準とした。

1970年に撮影された空中写真は全73枚であり、補正処理前後における基準点のRMSエラーは平均0.10ピクセル未満であった。1983年の航空写真は全11枚であるが、ローラ島以外の部分は欠損が多く、基準点のRMSエラーは平均13.0ピクセル程度であった。写真に選択の余地が少なく、斜め撮影された画像を加えざるを得ない点が補正精度に影響した。図-2にデータを示す。

## 4. 評価式作成方法と地理情報項目の定義

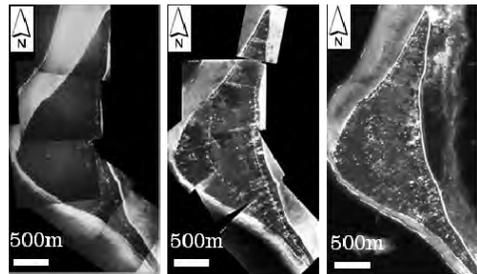
### 4.1 評価式作成方法

対策優先地区選定の手順を図-3に示す。本研究における対策優先地区は、海岸侵食に対する国土の防護を想定したものである。侵食が生じた原因として、①気候変動による海面上昇が、植生・被覆・地形に与える影響、②都市化による自然環境の喪失、以上を想定した。目的変数として侵食の有無を地理情報で表現し、説明変数として植生・被覆・地形に関する地理情報を用い、重回帰分析により評価式を推定した。

表-1 使用データ一覧

| 年代   | 画像種別          | 分解能(m) |       | 備考   |
|------|---------------|--------|-------|------|
| 1970 | 空中写真          | 0.3    |       | モノクロ |
| 1983 | 空中写真          | 0.3    |       | カラー  |
| 2000 | IKONOS(衛星)    | P:1.0  | M:4.0 | カラー  |
| 2006 | QuickBird(衛星) | P:0.6  | M:2.4 | カラー  |

注)P:パンクロマティック, M:マルチカラー



空中写真(1970) 空中写真(1983) IKONOS(2000)  
図-2 補正後の衛星画像および空中写真



図-3 対策優先地区選定の手順(フロー図)

**(1) 目的変数の生成**

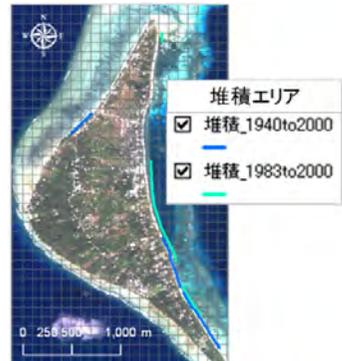
侵食および堆積のそれぞれの傾向を、+1(堆積傾向)、-1(侵食傾向)および 0(変化なし)の 3 値で数値化した。侵食・堆積の判断は、佐藤ら(2006)により蓄積された水準測量データを参考とし、横木ら(2004)および Yamano ら(2005)の両論文において示された侵食・堆積マップを対象とした。具体的には、1983 年から 2000 年にかけて、共通して侵食および堆積と抽出されているエリアを編集し抽出した(図-4)<sup>6),13)</sup>。本研究で設定した侵食堆積エリアを図-5に示す。なお、ロングアイランド地区は Yamano ら(2005)のみマップを成果物としているため、そのデータを分析に用いた(図-6)<sup>13)</sup>。

**(2) 説明変数の生成**

本研究における沿岸域の概念と情報項目設定に先立つ領域区分の考え方を図-7に示す。この概念に従い、既存の研究では地理情報生成の高度化について議論を進め、情報項目を整理した。一覧を表-2に示す。情報 No.1 および情報 No.2 の土地被覆の情報は、地点毎に短時間で撮影した現場写真を用い、衛星画像の連続した面的情報と合わせて植生・被覆を判断し、地理情報システム(GIS : Geographical Information System)を用いてマッピングした。なお、情報 No.2 の情報は、3つの植生の 100m メッシュ内の占有率を反映させたため、中間的なクラスが発生した。情報 No.3 の地盤高さの情報は、ステレオ撮影された空中写真より作成した DEM データをベースとした。しかし、海岸線部分の地盤高さは m 単位で平滑化された情報であるため、GPS 機能付きカメラによって地点毎に撮影した現地写真およびトータルステーションによる地形断面の測量結果(ローラ島先端部のみ)、以上を照らし合わせて確認の上、数値化した。なお、説明変数は 100m メッシュのラスタ形式に規格を定めて最終データを生成した。図-8に生成結果を示す。このうち、植生変化の情報は本研究の



(1)侵食(黄:横木ら(2004), 紫:Yamano ら(2005))



(2)堆積(青:横木ら(2004), 緑:Yamano ら(2005))

図-4 侵食・堆積傾向のマッピング(ローラ島)

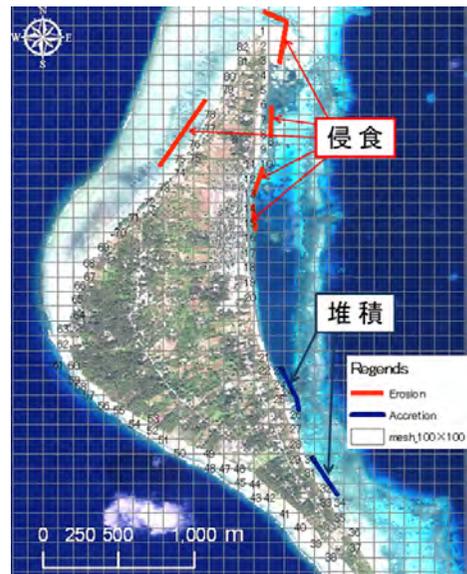


図-5 評価式推定に用いた侵食・堆積エリア

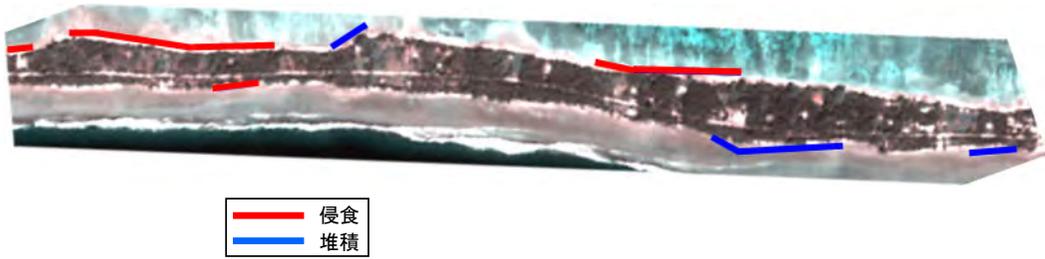


図-6 侵食・堆積傾向のマッピング(ロングアイランド地区)

特徴となる地理情報であるため、生成方法の詳細を含めて4.2で詳述する。

## 4.2 経年的な植生変遷情報の生成とその分析

### (1) 沿岸植生の面積占有率情報の生成

護岸や突堤等海岸構造物の建設に伴い、砂浜海岸の砂が減少したり、局所的に堆積したりといった地形変化が生じる場合がある。州島により外海の波が抑えられている環礁州島のラグーン側は非常に静穏な海であるが、宅地造成に伴い、汀線近

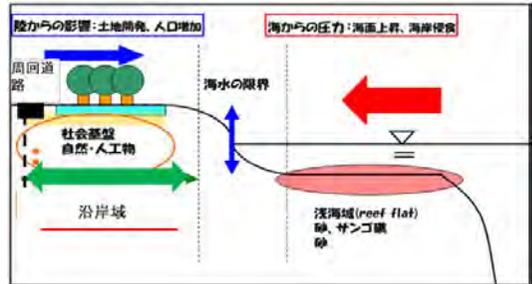


図-7 沿岸域の概念と情報項目設定の考え方

表-2 本研究で生成する地理情報(説明変数: 分析には陸域沿岸部のセルのデータを使用)

| 情報No. | 情報大項目   | 対象地点  | 情報小項目・説明                 | 変数値       |
|-------|---------|-------|--------------------------|-----------|
| 1     | 土地被覆情報  | 汀線近傍  | 砂浜                       | 1         |
|       |         |       | レキ                       | -1        |
| 2     | 土地被覆情報  | 陸域沿岸部 | 裸地                       | -1        |
|       |         |       | ココヤシ                     | 0.5       |
|       |         |       | 在来植生(テリハボク等)             | 1         |
| 3     | 地盤高さ    | 陸域全域  | 単位(m)                    | セル毎に抽出(m) |
| 4     | 後背地の緑被率 | 陸域沿岸部 | 海岸線法線方向(海岸線-周回道路)の緑被率(%) | セル毎に抽出(%) |
| 5     | 沿岸植生変化率 | 陸域全域  | 1970年-1983年までの変化率(%)     | セル毎に抽出(%) |
| 6     | 沿岸植生変化率 | 陸域全域  | 1983年-2000年までの変化率(%)     | セル毎に抽出(%) |

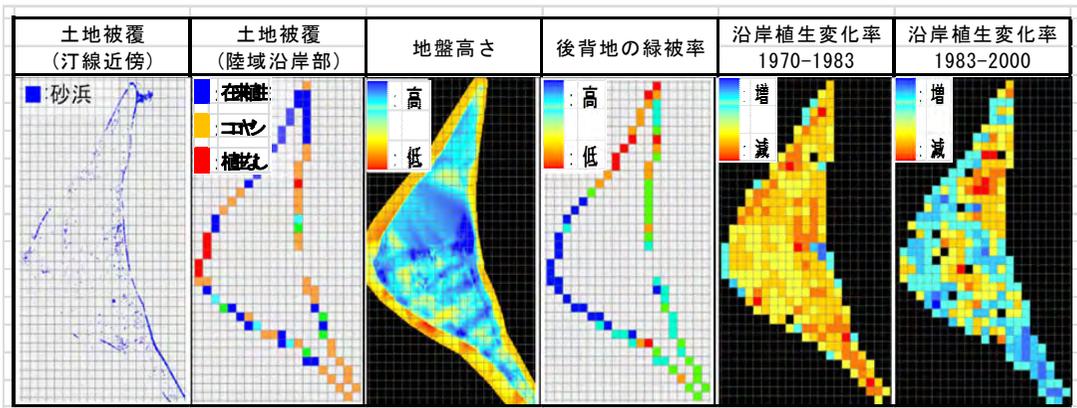


図-8 地理情報(説明変数)の生成結果

傍に生育しているココヤシやパンダナス等海浜植生を伐採すると、その近傍で侵食が発生するという現地の声もある。経年的な植生変遷情報は海浜植生が侵食と堆積に及ぼす効果を評価に導入する試みである。以下、沿岸植生変化率情報の生成手順と、情報の生成結果を示す。

**①植生域の算定：**衛星画像および空中写真より、植生域の面積(m<sup>2</sup>)を算出した。マジュロ環礁の植生は複数の植生種が細かく混在しており、かつ、常緑種が多いため、季節別に取得された衛星画像を組み合わせた植生種の区分といった工夫は難しい。このため、本研究では草木類を総合して植生域とした。植生域の算定には、教師なし分類(K-means 法)および教師付き分類(最尤法)を使用した。植生域の算定結果を表-3 に示す。本分析により、ローラ地区の植生面積は1970年から2000年にかけて約20%減少していることが判明した。

**②各年代の植生占有率の算出：**次に、100mメッシュ内に植生が示す割合(本研究における植生占有率(%))を求めた。図-9 に各年代の植生占有率(%)を示す。1970年は島全土が植生で覆われているものの1983年、2000年と植生の占有率が減少を続けていることが判る。特に、島の北部および宅地が多いラグーン側において占有率の低下が顕著であることが特徴である。

**③沿岸植生変化率の算出：**時系列変化の情報を評価に盛り込むため、過去の状況を客観的に観測している衛星・空中写真から導く植生域の変化に着目した。対象とした3年代の隣接する2年代の植生占有率(%)の差分を求めた。これを本研究における沿岸植生変化率(%)と呼ぶ。1970年から1983年および1983年から2000年の2つの年代区分の情報を生成した。図-8 右側に示した沿岸植生変化率の画像を見ると、1970年から1983年にはローラ地区全域で植生減少(図中黄色の領域)が見られるが、1983年から2000年ではラグーン側の一

部と地区中央部に植生減少域が限定されてきている。このような開発地域の変化が、評価式を用いた侵食・堆積傾向の区分に反映されることを期待している。

## 5. 対策優先地区の評価とマッピング

### 5.1 重回帰分析による評価式作成結果

侵食・堆積の傾向が明らかにされている地点を代表点として抽出し、重回帰分析によって評価式を作成した。具体的には、ローラ地区において「侵食・堆積・変化なし」の傾向が明らかになっている77地点より、33地点を抽出して分析を行った。その内訳は、侵食域10点、堆積域5点そして変化なしの地点18点である。侵食・堆積域の地点に加えて、変化なしの地点についても説明変数として加えることで、「侵食～変化なし～堆積」の現象が評価式に反映できるようにした。

また、評価式を生成する際には、沿岸域を構成する多くの自然条件を式に取り入れる観点で、表-2 に示した地理情報を用いることにした。但し、説明変数間の相関が高い場合には重回帰式の推定精度が低下するため、事前に変数間の相関を分析

表-3 各年代の植生域面積(m<sup>2</sup>)

| 年代   | 分類方法   | 植生面積(m <sup>2</sup> ) | 対1970年比 | 減少率(%) |
|------|--------|-----------------------|---------|--------|
| 1970 | 教師なし分類 | 2276.597              | 100     |        |
| 1983 | 教師つき分類 | 1936.005              | 85      | -15    |
| 2000 | 教師つき分類 | 113.064               | 80      | -20    |

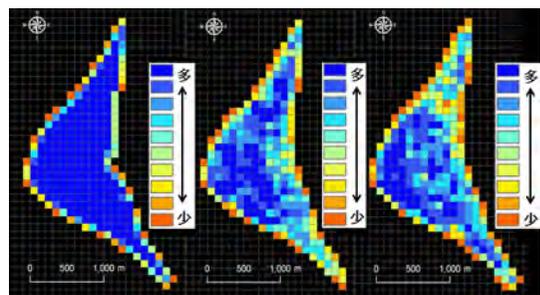


図-9 各年代の植生占有率(%)

することにした。具体的には、類似した説明変数を分析に用いないようにするため、表-4 に示す変数間の単相関を求めた。この結果、情報 No.1 の土地被覆の情報(汀線近傍)と情報 No.3 の地盤高さの説明変数間の相関が比較的高いことが分かった。このため、土地被覆に関する情報は他に陸域沿岸部の情報があることを考慮し、重回帰分析には土地被覆の情報(汀線近傍)を除く5つの地理情報(説明変数)を用いて分析を行った。分析の結果、回帰式の予測精度を示す自由度修正済寄与率は0.566であった。重回帰式の予測精度は極端に高いとは言えないが、変数間の関係は無関係ではないことが確認できた。また、回帰式の統計的有意性を示すp値を求めた所、p=0.000であった。回帰式が統計的に有意である場合には、p値は概ね0.05未満を示す。このため回帰式は統計的に有意と判断した。説明変数間の多重共線性への対応は単相関に基づく説明変数の棄却で対応した。事後確認のため分散拡大係数を求めた所、1.13~1.94を示し、説明変数相互の相関は低く、適切な係数が得られていることが確認できた。この条件で得られた説明変数毎の係数を表-5に示す。表-4に示した相関分析結果の右端の列に、説明変数と目的変数の相関を掲載した。表-5に示した重回帰式の係数の符号と該当する変数間の単相関の符号に逆転は見られず、この点からも分析が有意であることを確認した。

5.2 評価値の解釈に関する検討

評価式の妥当性を検証するために、海岸の傾向が明らかである44地点を評価の教師に加えて(侵食：6地点、堆積：2地点、変化なし：36地点)、「侵食傾向、

堆積傾向、変化なし」を区分するデータレンジを検討した。「侵食域：(-1.0+α)」「堆積域：(+1.0-α)」の閾値αを0.1~0.7の範囲で試行的に変え、評価式の推定に用いた33地点(サンプルエリアのデータ)および海岸の傾向が明らかになっている44地点(サンプルエリア外のデータ)と評価結果が良く一致する閾値を試行検討した。図-10に閾値α=0.3の考え方を示す。このケースでは、評価値が+0.7以上の値では堆積傾向、-0.7以下では侵食傾向、-0.7~+0.7は変化なし、と評価することを示す。α=0.1~α=0.7に対する一致率を網羅的に検討した結果、α=0.3はサンプルエリア内・外の平均一致率が78.1(%)を示し、最も妥当なケースとなった。式(1)に、ローラ島に対する評価式を示す。図-11は式(1)による侵食・堆積傾向の評価結果をマッピングしたものである。

$$Y = -0.038 \times (\text{No.2}) - 0.217 \times (\text{No.3}) + 0.135 \times (\text{No.4}) + 0.292 \times (\text{No.5}) + 0.482 \times (\text{No.6}) - 0.152 \quad \dots \text{式(1)}$$

侵食エリアと評価されたローラ島先端部(図-11)

表-5 重回帰分析の係数

| 情報No. | 変数項目                    | 係数     |
|-------|-------------------------|--------|
|       | 切片                      | -0.152 |
| No. 2 | 土地被覆(陸域沿岸部)             | -0.038 |
| No. 3 | 地盤高さ                    | -0.217 |
| No. 4 | 後背地の緑被率                 | 0.135  |
| No. 5 | 沿岸植生変化率(%)<br>1970-1983 | 0.292  |
| No. 6 | 沿岸植生変化率(%)<br>1983-2000 | 0.482  |

表-4 各変数間の相関分析結果

|                        | 土地被覆<br>(汀線近傍) | 土地被覆<br>(陸域沿岸部) | 地盤高さ  | 後背地の緑被率 | 沿岸植生変化率<br>(1970-1983) | 沿岸植生変化率<br>(1983-2000) | 目的変数<br>侵食・堆積 |
|------------------------|----------------|-----------------|-------|---------|------------------------|------------------------|---------------|
| 土地被覆<br>(汀線近傍)         |                | -0.03           | -0.61 | -0.06   | 0.25                   | -0.27                  | 0.03          |
| 土地被覆<br>(陸域沿岸部)        | -0.03          |                 | -0.22 | -0.24   | -0.02                  | -0.02                  | -0.06         |
| 地盤高さ                   | -0.61          | -0.22           |       | 0.04    | -0.25                  | 0.16                   | -0.30         |
| 後背地の緑被率                | -0.06          | -0.24           | 0.04  |         | 0.08                   | 0.38                   | 0.51          |
| 沿岸植生変化率<br>(1970-1983) | 0.25           | -0.02           | -0.25 | 0.08    |                        | -0.54                  | 0.15          |
| 沿岸植生変化率<br>(1983-2000) | -0.27          | -0.02           | 0.16  | 0.38    | -0.54                  |                        | 0.51          |

中の①の現況を写真-1 に示す。この地域は、佐藤ら(2005)の研究で実施した水準測量によると、明らかな汀線後退が見られる地域であり、評価式による評価結果と現地の傾向が一致していることが確認できる。次に、堆積エリアと評価されたローラ島ラグーン側南部(図-11 中の②)の現況を写真-2 に示す。この地域は、横木ら(2004)およびYamano ら(2005)による空中写真および衛星画像の判読結果によって、堆積傾向にある地域とされている。写真-2 には十分な幅を持つ砂浜が分布しており、評価結果と現地との傾向が一致していることが確認できる。

## 6. 評価式の適用範囲に関する検証

ローラ島に隣接するロングアイランド地区を対象として同じ項目の地理情報を生成し、分析で得られた評価式の汎用性について検証を進めた。

### 6.1 ロングアイランド地区の地理情報の生成

ローラ島と同一の地理情報を同一手順によって整備した。図-12 に、1970 年、1983 年および 2000 年の衛星画像および空中写真を示す。ローラ地区を対象とした検討と同様に、1970 年から 1983 年および 1983 年から 2000 年の 2 年度間を対象とし

|              |      |
|--------------|------|
|              | 堆積傾向 |
| --- +0.7 --- |      |
| 0            | 変化なし |
|              |      |
| --- -0.7 --- |      |
|              | 侵食傾向 |

図-10 閾値設定の概念(例:  $\alpha = 0.3$  の場合)



写真-1 ローラ島先端部(①) 写真-2 ローラ島南部(②)



|          | 着色 | 評価値の範囲                  | 傾向     |
|----------|----|-------------------------|--------|
| 小        | 黒  | $+0.9 < x$              | 強い堆積傾向 |
| ↑<br>優先度 | 青  | $+0.8 < x \leq +0.9$    | 堆積傾向   |
|          | 緑  | $+0.7 < x \leq +0.8$    | 弱い堆積傾向 |
|          | 黄  | $-0.7 \leq x \leq +0.7$ | 変化なし   |
| ↓<br>優先度 | 赤  | $-0.8 \leq x < -0.7$    | 弱い侵食傾向 |
|          | 黄  | $-0.9 \leq x < -0.8$    | 侵食傾向   |
|          | 大  | $x < -0.9$              | 強い侵食傾向 |

図-11 侵食・堆積傾向の評価結果

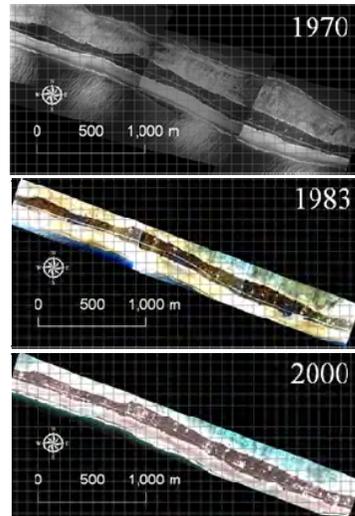


図-12 補正後の衛星画像および空中写真

た沿岸植生変化率を算出した。図-13 および表-6 に算出結果を示す。ロングアイランド地区では、1970年から1983年にかけて大幅に植生が減少し、続く1983年から2000年に大幅な増加が見取れた。これは1983年にはコブラの栽培のために沿岸植生が伐採されたものの、1990年代のコブラ経済の衰退に伴い、植生が放置され、2000年に植生が増加したのではないかと推定される。

### 6.2 地理情報間の相関係数による分析

重回帰分析に先立ち、ローラ地区とロングアイランド地区それぞれの地理情報(説明変数)間の相関係数を求め、データ間の特徴を分析した。海岸の侵食・堆積の傾向を、

①ローラ地区を対象とした変数で推定した評価式が、島の生成過程の異なる地域で適用することができるか否か。

②①で検討するように、式そのものの適用が難しい場合に、地理情報の微調整程度の改良によって適用できるか否か。

以上の点について、説明変数間の相関分析から傾向を分析した。ロングアイランド地区の相関係数マトリクスを表-7に示す。表-4に示したローラ島とロングアイランド地区それぞれの変数間の相関係数を見比べてみると、変数間の組み合わせ全21通りのうち12通りの組み合わせが、正負が逆転していた。この結果より、自然環境が比較的保たれているローラ地区と、大々的な人工的土地改変のあったロングアイランド地区では、波浪状況や潮位変化のパター

ンが異なる事に起因し、海岸侵食と堆積のメカニズムが大きく異なっている。このため、取り扱う地理情報の項目まで遡った検討が必要に

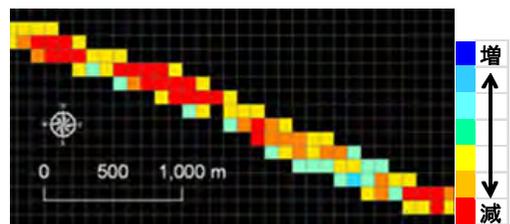
なることが伺えた。

## 7. 結論

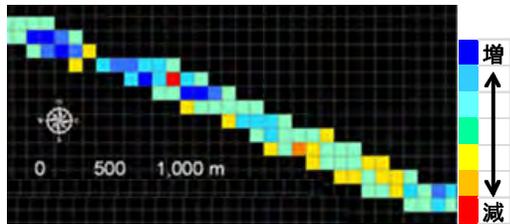
本研究の成果は次の3点である。

①ローラ島を対象として、重回帰分析を用いた対策優先地区選定プロセスを想定し、各種地理情報および侵食・堆積傾向のデータを生成した。

1970年,1983年,2000年の3時期における植生



1970年-1983年の変化率



1983年-2000年の変化率

図-13 沿岸植生変化率(ロングアイランド地区)

表-6 各年代の植生域面積(m<sup>2</sup>)

| 年代   | 分類方法   | 植生面積(m <sup>2</sup> ) | 対1970年比 | 減少率(%) |
|------|--------|-----------------------|---------|--------|
| 1970 | 教師なし分類 | 412.416               | 100     | -      |
| 1983 | 教師つき分類 | 304.176               | 74      | -26    |
| 2000 | 教師なし分類 | 373.392               | 91      | -9     |

表-7 地理情報間の相関関係(ロングアイランド地区)

|                        | 土地被覆<br>(汀線近傍) | 土地被覆<br>(陸域沿岸部) | 地盤高さ  | 後背地の緑被率 | 沿岸植生変化率<br>(1970-1983) | 沿岸植生変化率<br>(1983-2000) | 目的変数<br>侵食・堆積 |
|------------------------|----------------|-----------------|-------|---------|------------------------|------------------------|---------------|
| 土地被覆<br>(汀線近傍)         | -              | -0.26           | 0.09  | 0.21    | -0.32                  | 0.44                   | -0.32         |
| 土地被覆<br>(陸域沿岸部)        | -0.26          | -               | -0.13 | 0.01    | -0.03                  | 0.04                   | -0.20         |
| 地盤高さ                   | 0.09           | -0.13           | -     | 0.14    | 0.12                   | -0.09                  | -0.19         |
| 後背地の緑被率                | 0.21           | 0.01            | 0.14  | -       | -0.31                  | 0.14                   | -0.17         |
| 沿岸植生変化率<br>(1970-1983) | -0.32          | -0.03           | 0.12  | -0.31   | -                      | -0.80                  | 0.15          |
| 沿岸植生変化率<br>(1983-2000) | 0.44           | 0.04            | -0.09 | 0.14    | -0.80                  | -                      | -0.12         |

※下線部は、ローラ島に対する同じ変数間の相関係数を求めた際に符号が異なったものを示す。

の面積を比較した所、1970年から2000年において約20%の植生の減少が確認された。

②次に、対策優先地区を定量的に推定するために、重回帰分析によって評価式を作成した。評価式による評価結果と調査地点の代表的な現場写真とを比較したところ、概ね評価結果と現地現象との整合が取れていることが確認された。

③続いて、評価式の適用範囲を検証するために、ローラ島およびロングアイランド地区を対象として、説明変数および目的変数間の相関分析を行った。その結果、同一の地理情報間の相関係数を比較した際に、12ケースで符号が逆になる傾向が認められた。このため、同じ環礁内であっても、島の生成過程のメカニズムが大きく異なる場合には評価式推定に用いる地理情報項目の設定から再検討する必要性が伺えた。

本研究で作成した評価式は、現状の評価に加えて堤防や護岸の作成時には説明変数を変化させることにより、影響予測にも応用できる点が特徴である。海岸侵食といった自然現象を、地理情報といった間接的なデータで説明づけ、大まかな傾向を把握してゆくことは、物理的メカニズムを追及する厳密な分析には、「精度」という点では及ぶべくもないが、調査が困難であり、対象とする州島の数が多い島嶼国に対して、効率的な規模で傾向を把握する、という点で有意であると考えられる。今後は、異なる侵食・堆積のメカニズムを持つ州島に対する工学的な評価の汎用性を示してゆくことと、不足しがちな地理情報であった植生変化の情報について、合成開口レーダデータから求めるコヒーレンス値を導入し、植生変化の把握精度を向上させることを考えている。

## 謝辞

本研究は地球環境研究総合推進費 H20 地球環境対応型研究課題のプロジェクトの一環で実施された。

研究代表者山野博哉博士(国立環境研究所社会環境システム領域主任研究員)、および茅根創教授(東京大学大学院理学系研究科)、山口徹教授(慶応大学文学部)との議論が大変有益であった。ここに記して深甚なる謝意を表す。また本研究は、科学技術振興調整費(戦略的拠点育成)事業のフラッグシッププロジェクト(茨城大学担当分である持続可能な温暖化対策研究、研究代表者：茨城大学 三村信男教授)の一環として行われたものである。記して深甚なる謝意を表す。

## 引用・参考文献

- 1) Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change -Summary for Policymakers, <http://www.ipcc.ch/>
- 2) Kayanne H.(1992):Deposition of calcium carbonate into Holocene reefs and its relation to sea-level rise and atmospheric CO<sub>2</sub>. , Proceedings of the 7th International Coral Reef Symposium, Vol.1, pp.50-55
- 3) サンゴ礁グループ(1990)：熱い自然 サンゴ礁の環境誌, 古今書院, 372p.
- 4) 近森正(2000)：サンゴ礁の暮らしに学ぶ—環礁の民族学と考古学, 日本サンゴ礁学会誌, 第10巻, pp. 87~92
- 5) Xue,C.(2001) Coastal Erosion and Management of Majuro Atoll,Marshall Islands, Journals of Coastal Research, 17(4), pp.909-918
- 6) 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・Albon, I. (2004)：海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, 第51巻, pp. 1381-1385
- 7) 佐藤大作・横木裕宗・藤田昌史・桑原祐史・山野博哉・島崎彦人・茅根創・渡辺真砂夫(2006)：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, 第53巻, pp. 1291-1295,
- 8) Philip Woodward (1997) BEACH MONITORING IN DUD AND LAURA,MAJURO ATOLL,REPUBLIC OF THE MARSHALL ISLAND
- 9) South Pacific Sea Level and Climate Monitoring Project <http://www.bom.gov.au/pacificsealevel/tides.shtml>
- 10) 桑原祐史・横木裕宗・佐藤大作・三村信男(2007)：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, (社)土木学会情報利用技術論文集, Vol. 16, pp. 91-98
- 11) 桑原祐史・横木裕宗・小柳武和・三村信男(2009), 南太平洋島嶼国を対象とした沿岸域防護のためのゾーニング図作成方法の高度化, (社)環境地盤工学論文集, pp. 389-395

- 12) Yamaguchi, T., Kayanne, H., Yamano, H., Najima, Y., Chikamori, M., and Yokoki, H.(2005) : Excavation of pit agriculture landscape on Majuro atoll, Marshall Islands, and its implications, *Global Environmental Research*, 9(1), pp.27-36.
- 13) Yamano, H., Shimazaki, H., Kayanne, H., and Yokoki, H.(2005) : Efforts to Generate Maps of Atoll Countries, *Global Environmental Research*9(1), pp.37-46

## 著者紹介

江田雄樹 (非会員)

守谷市役所(茨城県守谷市大柏 950-1), 2009 年茨城大学工学部都市システム工学科卒業, 2011 年茨城大学大学院理工学研究科博士前期課程都市システム工学専攻修了, 2011 年 4 月守谷市役所入庁, 現在に至る. 土木学会会員.  
E-mail:y.eda@city.moriya.ibaraki.jp

桑原祐史 (正会員)

茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター(茨城県日立市中成沢町 4-12-1), 1992 年東京理科大学理工学部土木工学科卒業, 1994 年同大学院修士課程修了, 1995 年同大学院博士課程中退. 同年茨城大学工学部都市システム工学科助手, 1998 年博士(工学), 1999 年茨城大学工学部都市システム工学科講師, 2009 年同准教授, 2010 年茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター准教授, 現在に至る. 日本沿岸域学会, 土木学会, 日本リモートセンシング学会, 地理情報システム学会, 環境情報科学センター, 地盤工学会, 各会員.  
E-mail : kuwahara@mx.ibaraki.ac.jp

佐藤大作(正会員)

茨城大学工学部(茨城県日立市中成沢町 4-12-1), 2004 年茨城大学工学部都市システム工学科卒業, 2006 年茨城大学院理工学研究科博士前期課程都市システム工学専攻修了, 2009 年同大学院理工学研究科博士後期課程情報・システム科学専攻修了, 2009 年博士(工学), 2010 年茨城大学産学官連携研究員, 現在に至る. 日本沿岸域学会, 土木学会, 各会員.  
E-mail: sato\_d@mx.ibaraki.ac.jp

藤田昌史 (非会員)

茨城大学工学部都市システム工学科(茨城県日立市中成沢町 4-12-1), 1996 年茨城大学工学部都市システム工学科卒業, 1998 年同大学院博士前期課程修了, 2001 年東京大学大学院博士課程修了, 2001 年豊橋技術科学大学工学部研究員, 2003 年山梨大学大学院医学工学総合研究部助手, 2007 年同助教, 2008 年茨城大学工学部講師, 2010 年同准教授, 現在に至る. 土木学会, 日本水環境学会, 日本下水道協会, 廃棄物資源循環学会, International Water Association, 各会員.  
E-mail: fujita@mx.ibaraki.ac.jp

横木裕宗 (正会員)

茨城大学工学部都市システム工学科(茨城県日立市中成沢町 4-12-1), 1989 年東京大学工学部土木工学科卒業, 1991 年同大学院修士課程修了, 1991 年東京大学助手, 1996 年博士(工学), 1996 年茨城大学工学部都市システム工学科講師, 1998 年同広域水圏環境科学教育研究センター助教授, 2011 年同工学部都市システム工学科教授, 現在に至る. 日本沿岸域学会, 土木学会, 日本サンゴ礁学会, 日本海洋学会沿岸海洋研究部会, 環境情報科学センター, 各会員.  
E-mail:yokoki@mx.ibaraki.ac.jp

## **Proposal of the selection method of a priority region for land protection on Majuro atoll, Marshall islands**

Yuki EDA, Yuji KUWAHARA, Daisaku SATO,  
Masafumi FUJITA and Hiromune YOKOKI

**Abstract:** Over the South Pacific area, many atolls are scattered. Many atolls were generated because the outer shell of foraminifera and coral stone accumulated on the fossil of coral. For this reason, beach erosion happens easily and it is apprehensive about the influence of a sea-level rise. So, in this research, we tried to analyze the situation of coastal landform quantitatively by using a valuation plan. First, we generated five elements of geographic information, that are, land cover (vicinity of shore line), land cover (around coastal line), ground elevation, green ratio around the coastal area and variation of green space, and the information on beach erosion. Next, we performed the valuation plan by multiple linear regression analysis by using these data as variables. As a conclusion, we propose the selection method of a priority region for land protection on Laura district, Majuro atoll.

**Keywords:** atoll, beach erosion, adaptation, geographical information