

マーシャル諸島マジュロ環礁における海面上昇後の地形維持に関する数値計算と現地調査

茨城大学大学院	学生会員	佐藤大作
茨城大学	正会員	横木裕宗
琉球大学	非会員	藤田和彦
茨城大学	正会員	桑原祐史

1. 序 論

南太平洋をはじめ世界には数多くの環礁州島が存在し、環礁から成る島嶼国も多い。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、中央には外洋と比べ水深の浅いラグーンが存在する。環礁州島の大きな特徴としては河川が無いことや利用可能な土地資源が極端に限られていることなどが挙げられる。

近年、環礁州島では沿岸域の人工改変に伴うと考えられる海岸侵食が問題となっている。Xue(2001)は、マーシャル諸島マジュロ環礁では州島の都市化が進むにつれてリーフの掘削や航路の建設が盛んに行われるようになり、それに伴って漂砂移動が変化したために海岸侵食が生じたことを明らかとした。また、今後生じる海面上昇に対しても脆弱性が非常に高く、波浪や海水位などの物理環境の変化によってどのような地形変化が生じるのかを定量的に評価することは、今後の国土維持を考えるにあたって重要な知見になると考えられる。

これまで著者らは上述の視点からマジュロ環礁における地形維持について数値計算と現地調査から検討を行ってきた。横木ら(2004)ではマジュロ環礁の現地調査と波浪場の数値計算を行った。現地調査では海岸断面の測量と流速観測を行い、数値計算ではマジュロ環礁における底質の移動を回折波と風波によると考え、計算によって得られたそれぞれのエネルギーフラックスを用いて漂砂移動方向の推定を行った。しかし、この中では海面上昇については取り扱っておらず、漂砂に関して定量的な検討を行うまでは至らなかった。

そこで本研究ではマーシャル諸島マジュロ環礁を対象とし、浅海域にも適用できる第三代波浪推算モデル(SWAN40.41)を用いて環礁周辺も含む広い領域での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。また、海面上昇を想定し海面を0.88m 上昇させた場合の計算も行った。これらから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のかを定量的に明らかとすることを試みた。さらに計算結果と2005年8月および2006年8月に行った現地調査結果との比較を行った。

2. マジュロ環礁現地調査

2.1 マーシャル諸島共和国マジュロ環礁

マーシャル諸島共和国は北緯4~19度、東経160~170度であり、首都であるマジュロ環礁はその南西部に位置している。図1に示すのがマジュロ環礁の全体図である。マジュロ環礁は南北方向におよそ10km、東西方向に約40kmの大きさで、環礁西部には旧中心地であるLaura地域、環礁東部には現在の市街地であるUlga地域が位置している。また、それら2つの地域をつなぐ細長い地域がLong Island地域である。Laura地域からUlga地域までは一連の連なった州島で形成されており、Long Island東部にある小型船舶の航路を除いては、外洋とラグーンは完全に分断されていることになる。それとは対照的に北部では切れ切れの州島が多く見られ、特に中央部には大型船舶の航路であるPassageが存在していることが特徴として挙げられる。

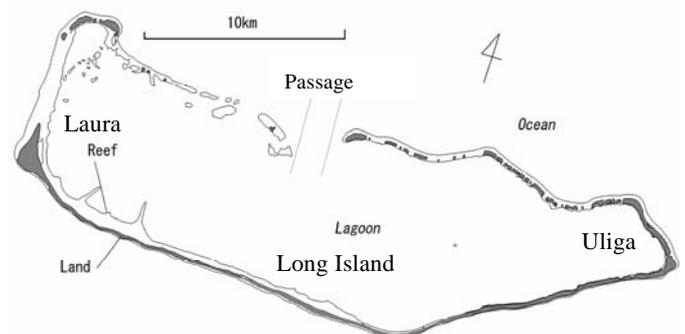


図 1 マジュロ環礁

キーワード 沿岸漂砂量, 海面上昇, マジュロ環礁

連絡先 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1 茨城大学工学部 TEL0294-38-5177

E-mail:06nd308s@hcs.ibaraki.ac.jp

2.2 現地調査概要

2005年8月および2006年8月にマジュ口環礁において現地調査を行った。現地調査では、海浜断面の測量および流速計を用いた定点観測を約1週間の日程で行った。本論文では、2005年に観測した流速計データと2006年に行った断面測量結果に関して、Laura地域に着目した結果を示す。測線および流速計の設置位置は図2に示すとおりである。

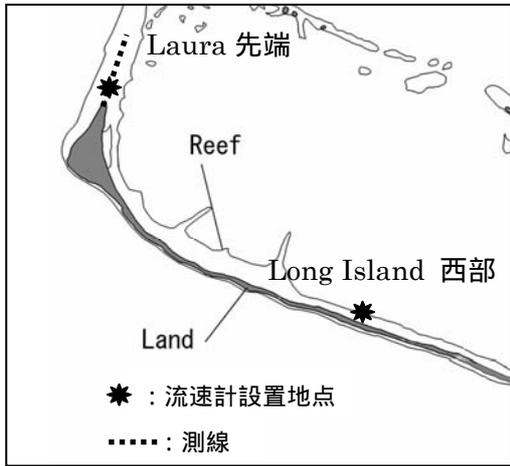


図2 測線および流速計の位置

2.3 海浜断面変化と流速計データの解析

図3に示すのが2006年8月のLaura先端における海岸断面測量結果である。図中には現地調査で測量したもの(Aug. 2006)と、SOPACによる過去の測量結果(6-Feb. 1997, 24-Apr. 1998)を示した。これより、Laura先端部分では侵食傾向が非常に強く、汀線は約10年間でおよそ15m後退したことがわかる。

図4,5は2005年8月のLaura先端およびLong Island西部における流速計の観測結果について、軌道流速成分と平均流速成分とに分離したものを示している(横木ら, 2006)。軌道流速成分は波による水粒子の楕円運動を表し、平均流速成分は水粒子の流れを表している。両者を比較してみると、Laura先端では主流向が周期的に変動しており、それに伴って平均流速も変化していることが見てとれる。これは観測期間の潮位変動とよく一致しており、潮位が変化することによって、周期的な流れがリーフ上で生じていることが考えられた。一方、Long Island西側の流速計データでは、主流向の

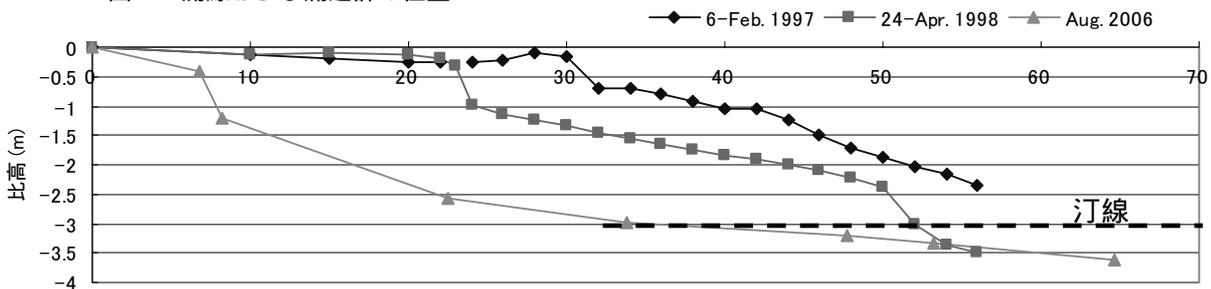


図3 Laura先端における断面地形変化

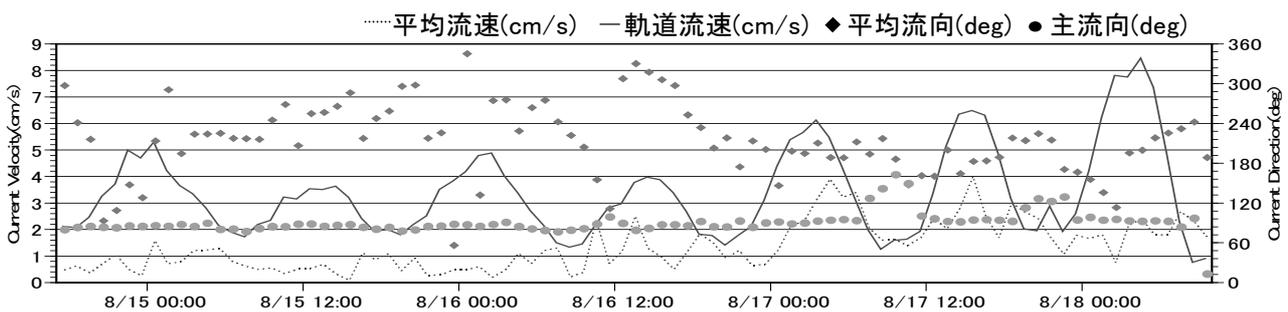


図4 Long Island西側における流速および流向の観測結果

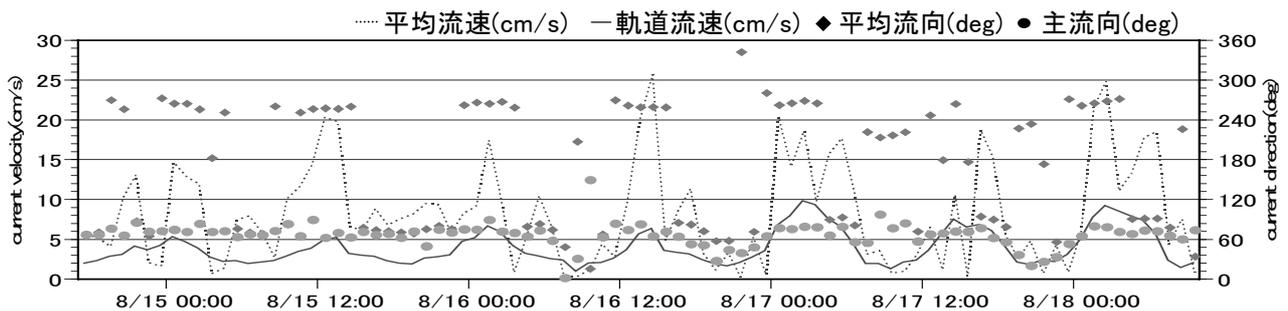


図5 Laura先端部における流速および流向の観測結果

周期的な変化は見られず、流速についてはほぼ全期間において軌道流速が上回っていることがわかる。これより、外洋は完全に遮られている Long Island 西側のラグーン側では波浪が地形変化や底質輸送に関して支配的な要因であると考えられ、Laura 先端部およびその周辺では潮位変動に伴う流れが支配的な要因となっていることが考えられた。

3. 地形維持過程の数値シミュレーション

3.1 波浪場の算定

波浪場の算定には屈折や浅水変形・風による波の発達の効果に加えて、擬似的ではあるが、回折の効果も考慮されている SWAN40.41 を用いた(Booij ら, 2004)。計算には ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts) より入手した 2002 年と 2003 年のうねりの有義波高および平均波向きを月平均した値を用い、JONSWAP 型スペクトルとして境界条件に与えた。風の場合については現地測候所より入手した 2004 年の風速・風向データを月平均したものを領域全体で与え

た。計算領域は図 6 に示す 30km×45km の領域とし、計算メッシュは 240m×240m の正方格子とした。また、周波数分割数は 35、波向き分割数は 35 とした。水深のデータは計算メッシュ毎に該当する水深を海図から読み取り水深データを作成した。以上の条件のもと、各月における波浪場の算定を 12 ヶ月分行った。また、海面上昇後を想定し、水位を 0.88m 上昇させた場合の波浪場の算定も同様に 12 ヶ月分行った。

3.2 堆積ポテンシャルの算定

エネルギーフラックスの沿岸方向成分 W' の算定には海岸工学委員会 (2000) を参考に式(1)を用いた。

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

ここで、 E は波のエネルギー、 C_g は群速度、 θ_{sh} は沿岸方向座標に対する汀線の傾斜角度であり、 θ_b は砕波点における波向きである。汀線の傾斜角度は、州島メッシュにおける汀線角度を海図や衛星画像から読み取って与えた。計算幅は波浪場算定と同様とし、沿岸漂砂量は CERC 公式 (海岸工学委員会, 2000) から算定し、現地調査から見積もられた有孔虫による底質供給量 (藤田, 2005) を足し合わせ土砂変化量を求めた。なお、本計算によって得られる土砂変化量をもともと計算点にある堆積物量を考慮していないため、算定された沿岸漂砂量がそのまま移動することになる。これは計算点における土砂変化量のポテンシャルを示したものと解釈することができ、本研究では算定された土砂変化量を堆積ポテンシャルと名付けて取り扱うこととした。

3.3 堆積ポテンシャルの計算結果

図 7 は Long Island 西部のラグーン側 (図 6 (a)) における土砂堆積量ポテンシャルを示したものである。

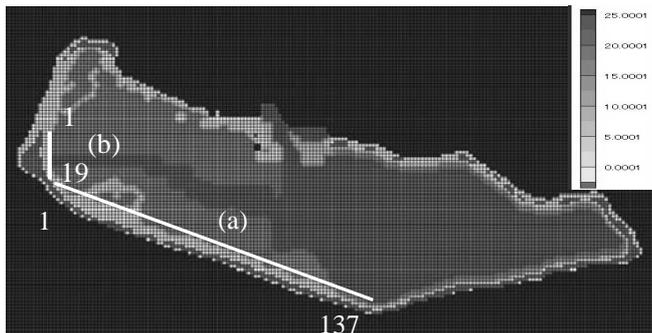


図 6 計算領域

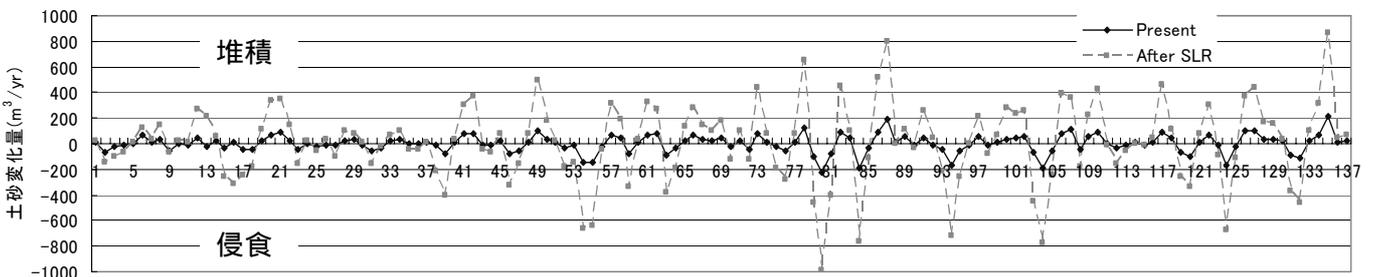


図 7 Long Island 西部ラグーン側の土砂堆積量のポテンシャル

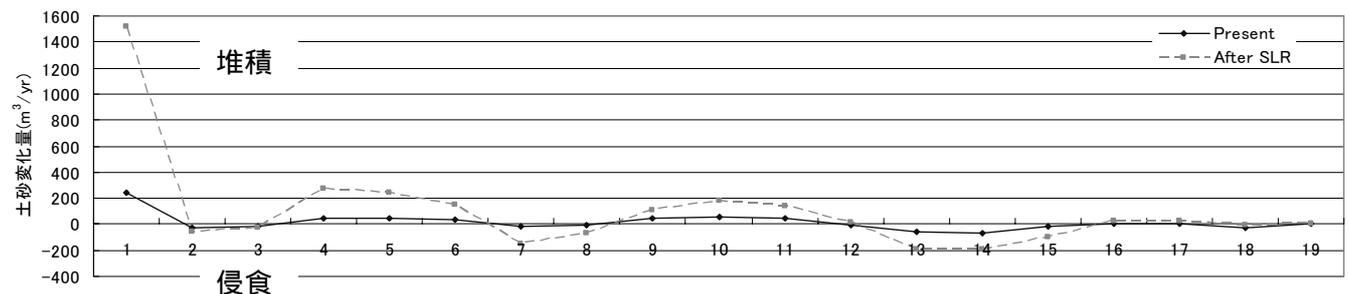


図 8 Laura ラグーン側の土砂堆積量のポテンシャル

横軸の No.81 以降は環礁北部の Passage から進入する外洋の高波浪の影響によって、海面上昇後の土砂変化ポテンシャルが大きく変化し、侵食および堆積それぞれの方向に大きく増加する結果となった。また、No.17 付近では海面上昇後には侵食・堆積の傾向が非常に顕著に表れるようになり、その土砂堆積量ポテンシャルに大きな変化が生じることが明らかとなった。侵食の変化量としては最も大きいところで 4.5 倍となる結果となった。これより、Long Island 地域は非常に島の細い地域ではあるが、潜在的な土砂堆積量の大きい地域であることが分かった。

図 8 に Laura 地域ラグーン側 (図 6 (b)) の計算結果を示す。侵食域では侵食の加速といった同様な傾向が見られた。しかし、先端部を除いて Long Island 地域ほどの変化ポテンシャルは無く、全体的に堆積傾向であった。特に Laura の先端部では大きく堆積する結果となった。

4. 現地調査結果と計算結果の比較

本研究では、波による沿岸方向エネルギーフラックスから沿岸漂砂量を算定し、有孔虫による堆積物生産量を考慮して、各地点における堆積ポテンシャルの変化を定量的に表現した。これより得られた結果のなかで、特に Laura 地域の州島北端部分について着目してみると、計算結果では大きく堆積傾向であった。しかし、現地調査から得られた断面測量結果を見てみると、実際は侵食傾向の強い地点であることがわかる。つまり Laura 北端における計算結果は現地調査結果と比較すると正反対の現象が生じてしまったこととなる。一方、Laura 北端における流速計データの解析結果からは、潮位変動に応じて流動場が生じ、それらが Laura 北端では支配的な物理外力であった。これらを合わせて検討すると、Laura 北端では潮位変動に応じて生じる流動が付近の地形変化に大きく影響を及ぼしており、堆積ポテンシャルの算定では、流動を考慮していないため、違った地形変化傾向が算定されたものと考えられる。

以上の考察から、Laura 北端付近では波浪だけでなく、潮位変動によって生じる沿岸流も考慮したうえでの漂砂量算定が必要であり、それによってより詳細に将来の地形変化を議論していくことが可能となると考えられる。

5. 結論

本研究では、マーシャル諸島マジュロ環礁を対象と

し、海面上昇を想定した波浪場および土砂堆積量ポテンシャルの算定を行い、その変化を定量的に明らかとした。また、現地調査結果との比較検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・0.88m の海面上昇後ではラグーン側海岸線の土砂堆積量ポテンシャルが大きく変化した。特に Long Island 地域においては侵食・堆積それぞれの方向で増加し、侵食量はもっとも大きいところでおよそ 4.5 倍となることが明らかとなった。
- ・現地調査から得られた流速データおよび断面測量結果の解析から、Laura の先端部分では波浪よりも潮位差によって生じる流動場が支配的であり、近年は激しい侵食傾向であることが明らかとなった。

今後は、本研究で得られた新たな課題を土砂堆積量ポテンシャルの算定の際に考慮することで、より詳細な地形維持モデルを構築していく予定である。

謝辞：本研究は地球環境研究総合推進費 (B 15, 代表：茅根創 東京大学助教授) のプロジェクトの一環で実施されたものである。プロジェクトリーダーである茅根創氏、研究参画者の山野博哉氏 (国立環境研究所)、山口徹氏 (慶応義塾大学助教授)、近森正氏 (慶応義塾大学名誉教授) との議論が大変有益であった。なお、有孔虫による堆積物生産量については東京大学大学院理学系研究科の大澤葉子氏にご助力を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 海岸工学委員会 (2000): 海岸施設設計便覧 [2000 年版], 土木学会, pp.139-140.
- 藤田和彦 (2006): 環礁州島の自然 (地形-生態) プロセスに関する研究, 地球環境研究総合推進費 平成 17 年度研究成果報告集, 環境省地球環境局研究調査室 (印刷中)
- 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 Ishoda (2004): 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.1381-1386.
- 横木裕宗, 桑原祐史, 林利一, 佐藤孝一, 三村信男 (2006): 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, 地球環境シンポジウム講演論文集, pp.241-246.
- Booij, N., IJ. G.Haagsma, L. H. Holthuijsen, A. T. M. M. Kieftenburg, R. C. Ris, A. J. van der Westhuysen, M. Zijlema (2004): SWAN Cycle version 40.41 USER MANUAL
- Xue, C. (2001): Coastal Erosion and Management of Majuro Atoll, Marshall Islands, Journal of Coastal Research, 17, 4, pp.909-918.