

A-0805 環礁上に成立する小島嶼国の地形変化と水資源変化に対する適応策に関する研究

(4) 地形変化予測と影響評価に関する研究

茨城大学工学部都市システム工学科 横木裕宗

茨城大学広域水圏環境科学教育研究センター 桑原祐史

〈研究協力者〉

茨城大学工学部都市システム工学科 藤田昌史

茨城大学工学部 産学官連携研究員 佐藤大作

平成20～22年度累計予算額：13,501千円（うち、平成22年度予算額：4,001千円）

予算額は、間接経費を含む。

[要旨] 環礁州島における気候変動に対する適応策を検討するために、マジュロ環礁を対象として、州島の将来地形の予測とそれに基づく海岸侵食対策の提案、および土地被覆情報を用いた海岸保全計画の策定法の提案を行った。モデルを構築し、10年間の現地調査による地形変化を用いて検証した。将来はローラ州島先端で大きく侵食が見られる他は、侵食と堆積が点在することが予測された。環礁北部の豊富な砂浜の底質を利用した養浜により、侵食傾向の海岸の侵食を今後100年間にわたって減少させる可能性があることを示した。また、個々の海岸保全計画の策定に際しては、現状の被覆特性を考慮することと同時に、既往の侵食・堆積傾向を考慮することが重要であることを示した。また、リーフの人工的な開削により水路を設けることで、環礁スケールの沿岸漂砂を遮断してしまう可能性があることをタラワ環礁での現地調査で確認した。また、マジュロ環礁のラグーン海岸の水質を分析し、水質汚濁の起源がし尿であることを確認した。

[キーワード] 環礁州島、沿岸漂砂、養浜、土地被覆、海岸水質

1. はじめに

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次報告書では、海面上昇、熱帯低気圧の強度増加、高潮氾濫の危険性等、低平地が直面する多くの課題が指摘されている。島の最大標高が数mである南太平洋島嶼国、中でも環礁州島においても、海面上昇が進むに従って、暴風雨時に越波が頻繁に起こることや島本体の侵食といった被害の拡大が懸念される。そこで、本研究では、環礁州島の状況に応じた海岸管理計画を策定し、島の適切な防護方法を検討するために、(1)州島地形の将来予測と保全対策の検討、(2)土地被覆情報を用いた海岸管理計画策定の提案、(3)海岸水質の調査、の3つの課題を掲げて研究・調査を行った。(1)では、波浪場を外力とする漂砂移動による州島地形の長期的変化を予測する数値モデルを構築し、マーシャル諸島共和国マジュロ環礁を対象として将来予測をすると共に、人工的な養浜による海岸防護の可能性を検討した。(2)では、マジュロ環礁のローラ地区を対象とし、衛星画像や空中写真といった沿岸域の地理情報を用いた重回帰分析に基づく防護対策の優先順位決定プロセスの提案を進めた。さらに、沿岸植生の年度による違いを反映させて地理情報の高精度化を行った。そして、(3)では、人口密集地とそうではない地区の前面の海岸における水質を比較し、水質の悪化の要因を検討した。

以下では、(1)～(3)の課題毎に説明を行う。

2. 研究目的

(1) 州島地形の将来予測と保全対策の検討

州島保全対策検討のためにマジュロ環礁を対象に地形変化モデルを構築し、海面上昇影響下での100年後の州島地形を予測すると共に、有効な州島保全対策の検討を行うことを目的とした。

(2) 土地被覆情報を用いた海岸管理計画策定の提案

図1に示すマーシャル諸島共和国マジュロ環礁の西側に位置するローラ地区を対象として、対策を優先させる地区の順位決定プロセス提案に関する研究を進めてきた¹⁾⁻³⁾。これらの研究では、ローラ地区の陸域部を周回する道路から汀線までを、図2に示す形で沿岸域と定義し、沿岸域から浅海域に分布する代表的な被覆を表現する地理情報を作成してきた。しかし、沿岸域の経年的な被覆の変化が海岸侵食に与える提供を考慮に入れていない、という課題が残されていた。この点について、1970年～1983年および1983年～2000年という2期間における沿岸域の植生変化を把握することによって被覆変化を代表させることを試みた。



図1 マーシャル諸島共和国マジュロ環礁

対策優先順位決定プロセスで用いる評価式そのものについては、重回帰分析の目的変数となる侵食・堆積域と評価結果との比較を行い、検証を進めた。このような中、沿岸域の地理情報の精度を向上させることにより、州島の防護に関する対策を計画してゆく際に参考となる対策優先順位決定プロセスの精度向上を図ることを目的とした。

対象としたローラ地区は、マジュロ環礁の中では最も早い時代に人間居住が見られ

た地域であることが考古学の分野で発見されており、現在でもその居住形態がある程度守られた生活環境にあることが報告されている⁴⁾。この地域は、陸域部分のほぼ全域が、ココヤシ・パングナスといった樹木に覆われ、その樹冠の下に人間居住やタロ芋の耕作地(ピット)が分布している。しかし、近年、地区周回道路の建設や、宅地の増加、グラウンド整備などが進み、少しずつ都市化が進行してきた。このため、経年的な被覆変化を表現する地理情報として樹林や草地を組み合わせた「植生域」の減少率で示すこととした。

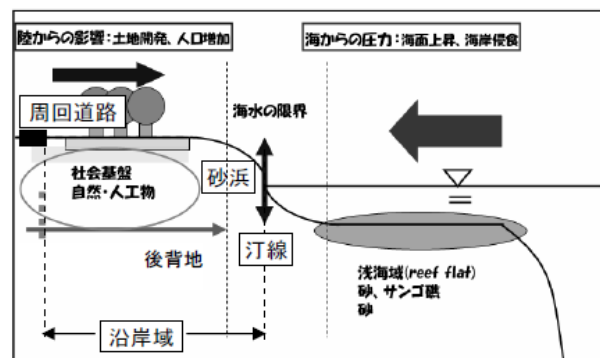


図2 地理情報項目の作成概念⁴⁾

(3) 海岸水質の調査

海岸侵食と人為的な影響との関係性を評価するために、海岸水の水質調査を実施した。

3. 研究方法

(1) 州島地形の将来予測と保全対策の検討

環礁州島の地形変化は自然条件によるものと人工的に生じるものの二つに大きく分けられる。本研究では自然条件による地形変化に着目し、地形変化モデルの構築を行った。地形変化を生じさせる自然外力に関して、図-3に示すように大きく2つに分けることができる⁵⁾。一方は日常的に来襲する外力条件を示しており、うねりや風波、潮汐流動が挙げられる。こうした外力は日常的・季節的に変化し、主にラグーン側海岸において粒径の細かい砂の運搬が生じる。もう一方は突発的に生じる熱帯低気圧による高波浪である。非常に高いエネルギーを持った波浪によって、主に外洋側で数十 cm ほどの大きさのサンゴレキが運搬され、堆積する。

マジュロ環礁はこれまでに熱帯低気圧の来襲をほとんど受けていない。米軍合同台風警報センターによる 1945~2008 年までのベストトラックデータによると、マジュロ環礁は 1991 年 11 月および 1997 年 11 月に熱帯低気圧の直撃を受けていたことが分かった。1945 年以前に関しては Xue⁶⁾によると 1905 年および 1918 年に熱帯低気圧によって大きな被害を受けたとの報告がされている。こうした記録より、マジュロ環礁における熱帯手気圧来襲は稀な現象であると考えられることから、本研究では日常的に来襲する波浪によって生じるラグーン側砂浜海岸の地形変化に着目して地形変化モデルを構築した。

図-4は構築した地形変化モデルの計算フローを示している。本研究では海面上昇の影響を考慮するため 100 年間の計算期間とした。長期間の計算を効率良く行うために、波浪場計算ループと地形変化計算ループで計算期間を変化させた。波浪場計算ループは主に漂砂の機動力となる波浪場の算定を行っている。この波浪場計算が計算負荷の最も高い部分であることから、10 年に一度の算定とすることで効率化を図った。なお、海面上昇量は 10 年毎に水深データを

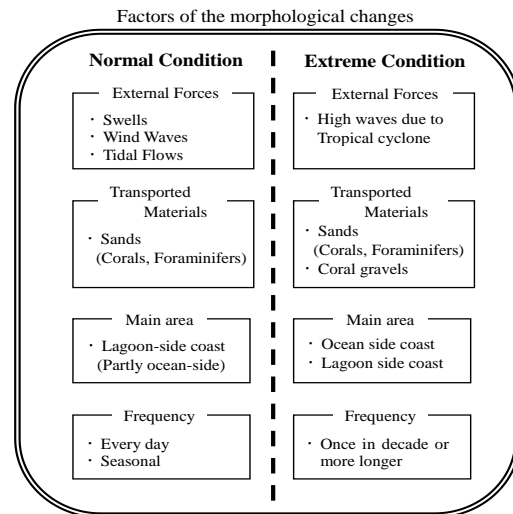


図3 環礁州島の地形変化外力

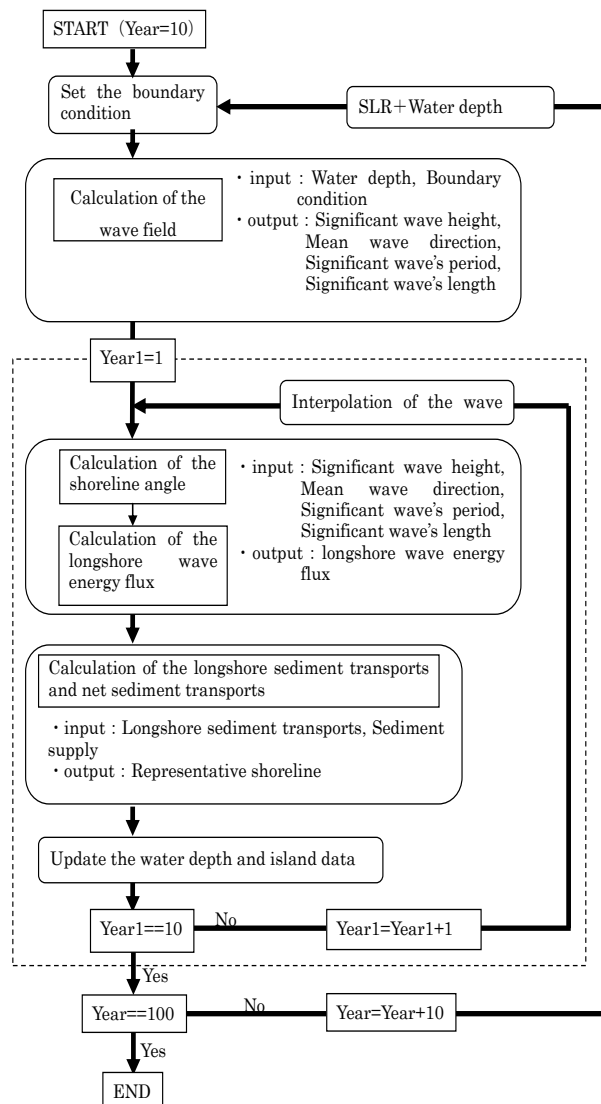


図4 計算フロー

更新することで考慮した。波浪場算定で出力される変数は有義波高、平均波向き、有義波周期である。得られた沿岸部における波浪諸元および汀線角度、堆積物供給量などを入力条件として地形変化計算ループが行われる。環礁州島特有の地形変化過程として有孔虫からの堆積物供給があるが、その効果についても地形変化の計算過程の中で考慮した。地形変化計算ループでは、地形が変化することで汀線角度も変化することから、地形変化による局所的な条件変化を考慮するために1年毎に算定を行った。さらに、10年毎に実行される波浪場算定においても地形変化の影響を考慮するために水深データの更新を行った。

波浪場算定では主要な外力であるうねりと風波を考慮した。数値計算には波浪推算モデルSWANを用いた⁷⁾。SWANは2次元の波作用量方程式を基礎方程式としている(式(1))。

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (1)$$

ここで、 t は時間、 x 、 y は水平方向、 σ は周波数、 θ は波向きを示している。 N は波作用量密度、 C_x 、 C_y は水平方向の特性速度を示している。 C_σ は周波数方向の特性速度、 C_θ は波向き方向の特性速度である。式(1)の右辺の S はソース項であり、波の発達、消散、非線形干渉などが含まれている。

波浪エネルギーフラックスの沿岸方向成分 P は最沿岸計算メッシュにおける波浪諸元から式(2)より計算した。

$$P = \frac{1}{8} \rho g H_b^2 C_{gb} \sin \alpha \cos \alpha \quad (2)$$

ここで、 ρ は海水の密度、 H_b は有義波高、 C_{gb} は有義波周期および有義波の波長から計算される群速度である。 α は汀線角度に対する平均波向きの角度である。さらに、式(3)から沿岸漂砂量を算定した⁸⁾。

$$Q = \frac{KP}{0.6(\rho_s - \rho)g} \quad (3)$$

ここで、 ρ_s は底質の密度、 Q は沿岸漂砂量である。係数 K はCERCを参考に0.39とした⁹⁾。計算された沿岸漂砂量を用いてLaura島からDUDまでの連続した海岸線について、式(4)に示した土砂量の連続式を用いて地形変化を算定した。

$$\frac{\partial Q_{vol}}{\partial t} = \frac{\partial Q}{\partial \xi} + q \quad (4)$$

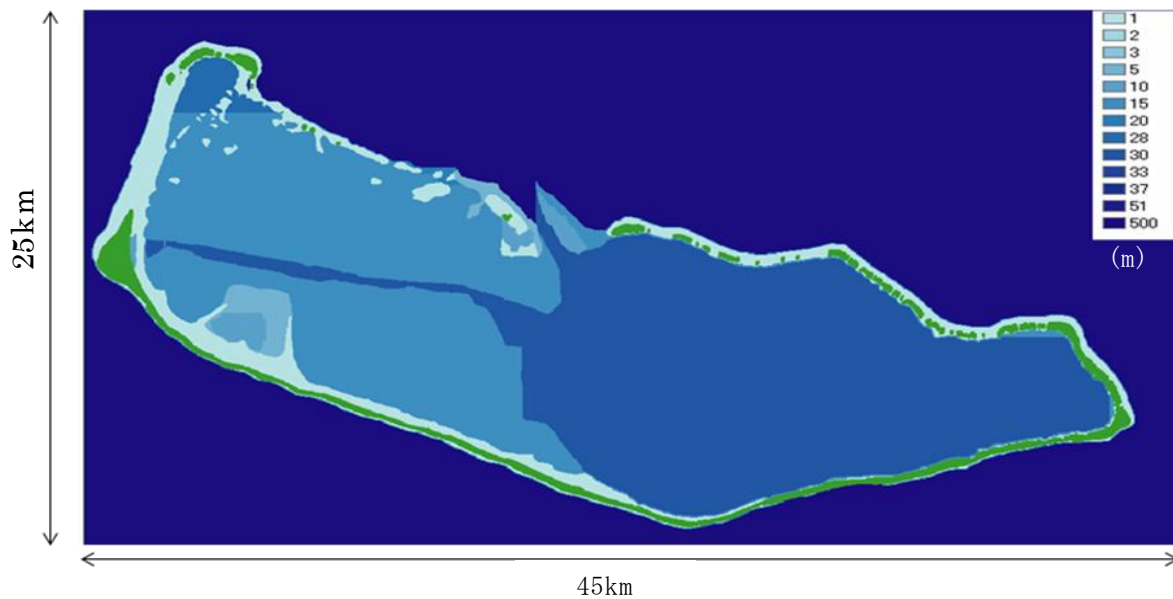


図5 計算領域と水深データ

ここで、 Q_{vol} は正味の漂砂量を示しており、 ξ は沿岸方向の座標系を示している。 q は毎月の堆積物供給量を示しており、Fujitaら¹⁰⁾で示された年間の堆積物供給量を元に月毎の供給量を算定して与えた。

沿岸漂砂量および正味の漂砂量は波浪場算定と同様のメッシュを用いており、沿岸メッシュで定義されている。 x および y 方向のメッシュ幅は32mとし、州島高さは一律で平均海面から2mと設定した。陸域メッシュの土砂量の初期条件として、海域メッシュと隣接している陸域メッシュはメッシュの体積($32 \times 32 \times 2$)の50%が土砂であるものと考え、それ以外の陸域メッシュは100%が土砂であると仮定した。海域のメッシュの初期土砂量は0%である。計算のなかで土砂量が100%以上となった場合には、隣接するメッシュに超えた量を加えた。一方で、土砂量が0%となった場合には陸域メッシュから海域メッシュへと変更し、周辺のリーフと同様に水深1mとした。州島の拡大範囲はリーフフラットで制限されるように設定した。

図-5は計算領域と水深データを示している。計算領域はマジュロ環礁全体を含む領域とした。ラグーン内の水深は海図からデジタル化したポイントデータをGISソフト上で内挿し、デジタル化したものを用いた。また、州島領域は高解像度衛星画像から州島の輪郭を抜き出し、水深データと合成することで作成した。外洋側の水深は深海域を想定して一律で500mとし、リーフフラット上の水深は平均的な海面位置を想定して1mと設定した。

波浪・風場の境界条件は年平均値を固定値として与えた。波浪に関しては有義波高、有義波周期、平均波向きをECMWF(ヨーロッパ中期気象予報センター)より入手した1990~1999年まで

表-1 波浪・風の境界条件

	Values
Significant wave height(m)	1.9155
Mean wave direction(deg)	239.4337
Significant wave's period(s)	9.5932
Mean wind speed(m/s)	5.1809
Mean wind direction(deg)	-81.8557

の6時間毎のマジュロ環礁周辺の再解析値を元に年平均値を算出した。風場はマジュロ環礁気象台で観測された2002～2003年の1時間毎の観測値を元に算出した。それぞれの境界条件値は表1に示すとおりである。海面上昇量はIPCC AR4で示された2100年までの海面上昇量予測値のうち、

最大値となる2100年に59cmとなるシナリオを採用し、グラフから読み取ることで10年毎の上昇量を算出した(表-2)。

有孔虫による堆積物供給量はFujitaら¹⁰⁾で示された年間の供給量から毎月

の供給量を算出した(表-3)。ローラ島北部ラ

グーン側、ローラ島中部ラグーン側、ローラ島南部ラグーン側、環礁北部ラグーン側の計4地点における供給量を与えた。

表-2 海面上昇量

	0-10 years	10-20 years	20-30 years	30-40 years
Increasing value(m)	0.000	0.042	0.038	0.048
	40-50 years	50-60 years	60-70 years	70-80 years
Increasing value(m)	0.044	0.056	0.058	0.051
	80-90 years	90-100 years	Based on the IPCC AR4	
Increasing value(m)	0.055	0.147	Unit: m	

表3 有孔虫による堆積物供給量 (Fujitaら¹⁰⁾より算出)

	Northern part of the Laura, lagoon	Middle part of the Laura, lagoon	Southern part of the Laura, lagoon	Northern of the atoll, lagoon
Sediment production volume (m ³ /annual)	7.44	0.36	2.28	25.32

表4 使用データ一覧

撮影年次	画像種別	分解能(m)
1970	空中写真	0.3
1983	空中写真	0.3
2000	IKONOS(衛星画像)	PN:1.0,MX:4.0

(2) 土地被覆情報を用いた海岸管理計画策定の提案

本研究で使用したデータを表-4に示す。被覆変化の分析を進める際には、対象エリアで各年度のデータが取得されている必要がある。このため、ローラ地区が切れ目なく一様なデータとして取得されている2000年観測・取得のIKONOS画像を幾何補正の基準とした。1970年撮影の空中写真は、マジュロ環礁東側の都市部を含む計73枚が現存しており、これら全てにGCPを用いた精密幾何補正を施した。1983年撮影の空中写真は、ローラ地区以外の部分は欠損が多く、計11枚が現存、同様の幾何補正を施した。なお、1970年撮影の空中写真はパンクロ映像であった。また、空中写真の個々のシーンが全てオーバーラップ(サイドラップ)はしておらず、ローラ地区のいくつかの部分では欠落した地点があった。最も欠落地点が多かったのは1983年撮影の空中写真であったため、緑地面積の変化を集計する際の有効エリアは1983年撮影の空中写真を基準とした。また、メッシュサイズについては、各データの有する情報量を最大限に生かすことを考慮して、一連のデータで最も解像度の低いIKONOS衛星画像のMX(マルチスペクトラルモード)の4mに統一した。

(3) 海岸水質の調査

2009年8月6日、10日、11日にラグーン側、外洋側の計10地点で調査を行った。マジュロの土地利用、産業などを考慮すると、汚染があるとすれば生活排水、特にし尿が主要な要因になり得ると想定される。そこで、窒素(アンモニア性窒素、硝酸性窒素)を調査対象とした。海岸水

の汚染を捉えるために、岸から 10~20m 程度の地点で採水した。保留粒子径 0.3 μ m のガラス繊維ろ紙でろ過し、ろ液のアンモニア性窒素、硝酸性窒素をそれぞれインドフェノール法、銅-カドミウム還元ナフチルエチレンジアミン吸光光度法で分析した。

4. 結果・考察

(1) 州島地形の将来予測と保全対策の検討

地形変化の予測を行う前に、現地調査で得た断面測量結果から算出した現地地形変化と比較することで、構築した地形変化モデルの精度を確認した。断面測量は図-6に示すようにマジュロ環礁西部のローラ島ラグーン側海岸に3測線設置した。本研究で

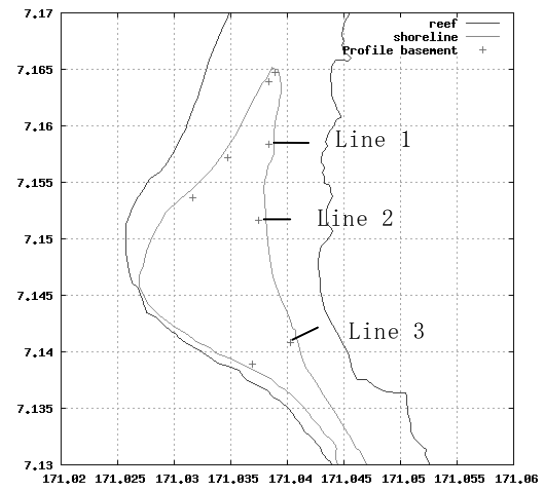


図6 ローラ島の測線位置

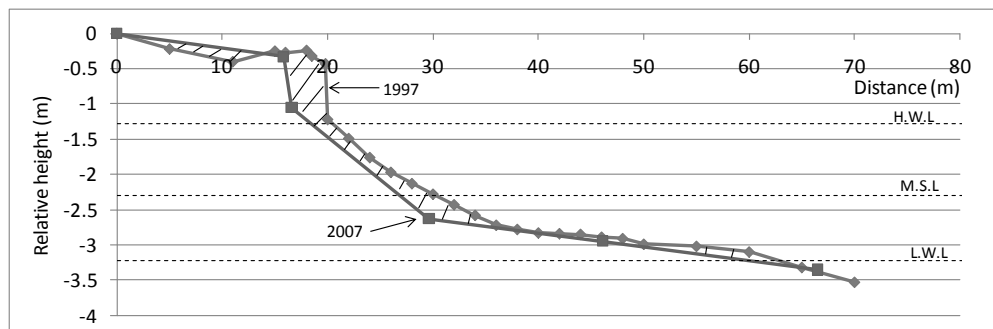


図7 測量結果の例 (Line1)

表-5 断面測量結果と計算結果の比較 (m³)

	Line 1	Line 2	Line 3
Sediment changes by beach profile	-6.9	7.0	9.2
Calculated results	-6.4	7.9	7.9

設定した3測線は1997年にSOPAC¹¹⁾によって測量されたものと同測線である。図-7はLine 1における本研究 (2007年) および1997年にSOPACによって測量された断面地形を示している。10年間の地形変化を把握するために、各測線ごとに図-6中に斜線で示されている領域の面積を算出した。表-5は各測線における断面地形から算出された断面積変化量と同地点における地形変化計算結果を示している。なお、沿岸方向の幅は単位幅当たりとして考えた。表より計算結果は断面測量から得られた結果と同様の傾向を示しており、構築した地形変化モデルが現地の侵食・堆積の特徴を良く再現していることが確認できた。

図-8は将来地形の計算結果を示している。計算はマジュロ環礁全域を対象に行ったが、図では

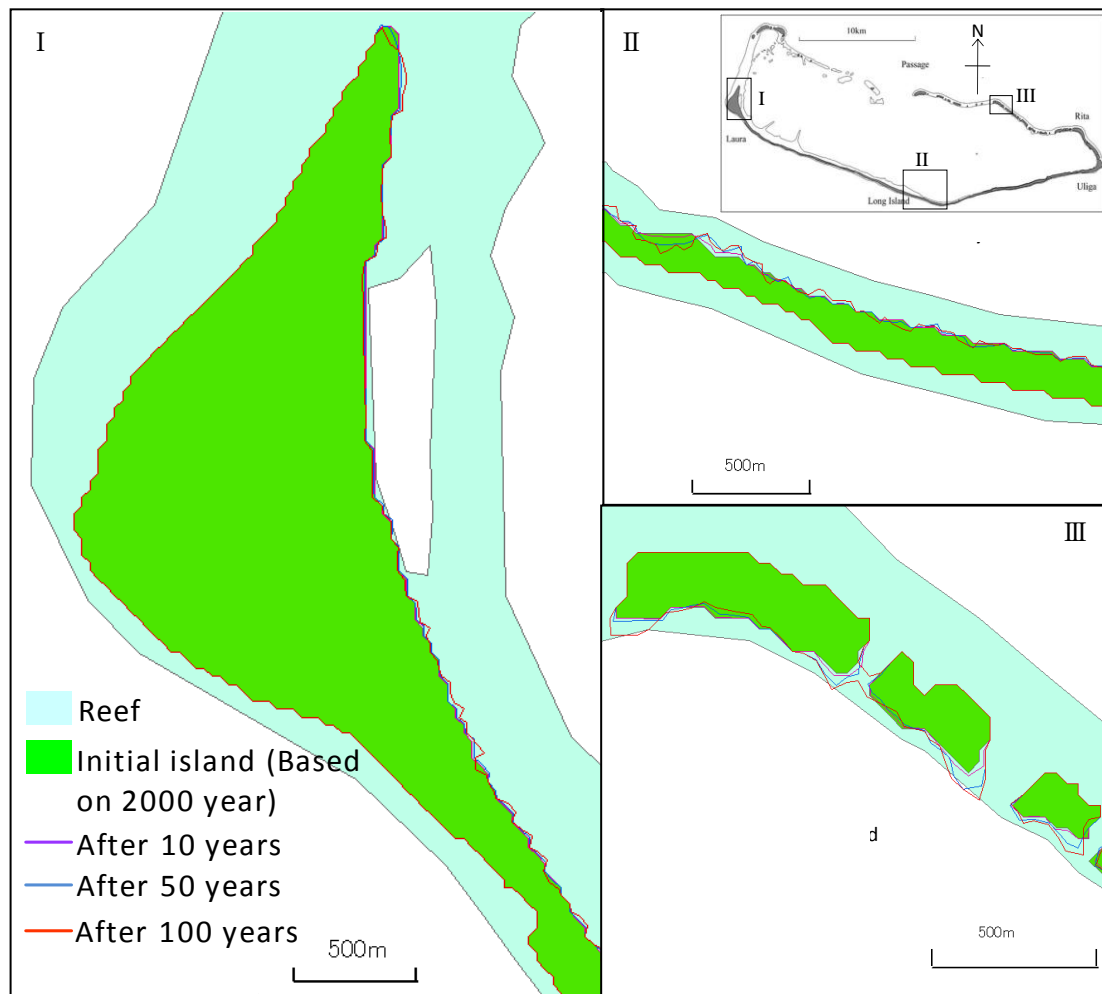


図8 将来地形の計算結果

特徴的な3地域（I：ローラ島、II：ロングアイランド中部、III：環礁北部の州島）に着目した。図中の水色の領域がリーフフラット、緑色の領域が初期地形を示している。また、将来地形として10、50、100年後の汀線位置を示した。ローラ島に着目してみると、北端部分で非常に大きな侵食が生じていることが分かる。これは過去の地形変化に関する研究成果¹²⁾から得られていた地形変化傾向と一致するものであり、本研究の結果から今後も侵食傾向が続くものと考えられた。ローラ島南部のラグーン側海岸では侵食・堆積両方が生じているが、北端部と比較すると地形変化量は小さい結果となった。州島幅が狭くなるロングアイランド中部の結果に着目すると、ここでも大きく侵食する箇所が確認された。一方で堆積が生じる海岸もあることから、海面上昇によって全ての海岸で激しい侵食が生じることは無いと考えられる。環礁北部の地形変化に着目すると、ローラ島から都市域までの一連の州島とは異なり、ほぼ全ての海岸で堆積となった。環礁北部では堆積物供給量が他の地域と比較して極端に大きな値となっていることから、この効果によって堆積が加速し、100年後では2つの州島がつながるほど堆積する結果も確認できた。

本研究では州島の拡大はリーフフラットで制限した。図-9(a)に示すようにリーフエッジまでは堆積によって州島域の拡大は許容するが、それ以上の堆積が生じた場合はラグーン内に流出し、再びリーフフラットの沿岸漂砂システムには戻らないと考えた。これによって、堆積傾向が強くリーフフラットの幅が狭い場所では流出土砂が多く計算された。こうした流出土砂は環礁北部の

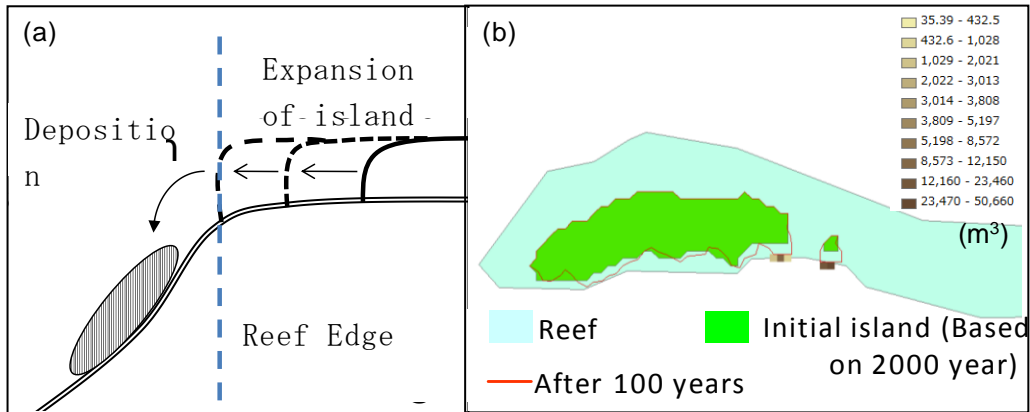


図9 (a)州島の拡大の取り扱い、(b)環礁北部の流出土砂

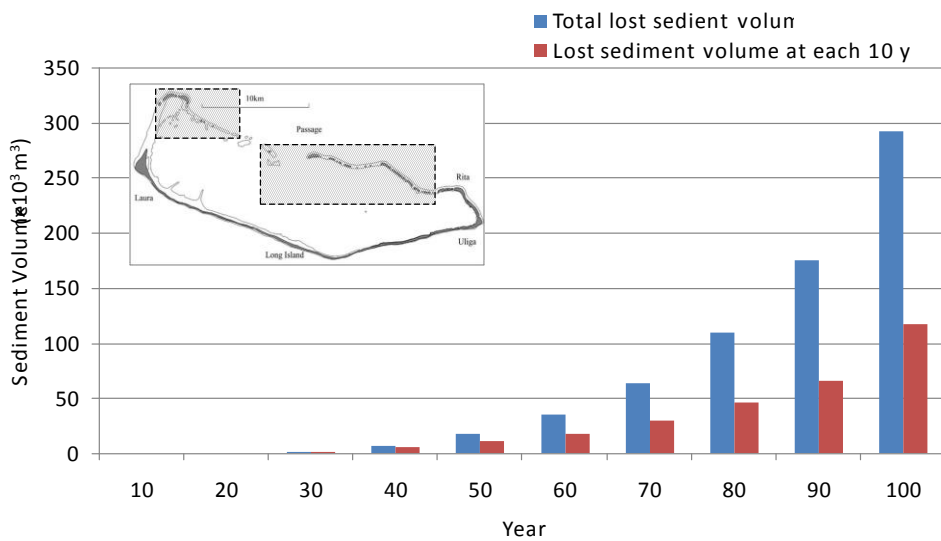


図10 流出土砂量の計算結果

ラグーン側で多く確認された（図-9(b)）。マジュロ環礁では環礁北部から南部に向かって波浪が入射しているため、その遮蔽域となる環礁北部州島のラグーン側は堆積しやすい状態であったことが、非常に大きな堆積を生じさせた原因であると考えられた。図-10は図中の斜線で示した範囲における流出土砂量の計算結果を示している。図より40年後まではほとんど計算されなかった流出土砂が、その後急激に増加し、100年後までにおよそ $300 \times 10^3 m^3$ 生じることが分かった。また、各10年の流出土砂量が時間が経過するごとに大きくなっていることから、海面上昇によって上昇した沿岸波高が漂砂量を増加させ、それによって流出土砂量も増加したものと考えられた。

地形変化の将来予測計算結果から、激しい侵食が生じる領域などが特定されたが、その分布は広範囲に不連続に分布していた。このため、適切に対策を講じる必要性が生じるが、これには短期的・長期的な視点での検討が必要である。本研究では100年という長期間の地形変化に着目して議論したが、このような長期間の地形変化においては環礁州島が持つ独自の地形変化過程を考慮する必要がある。また、人工的な地形改変も長期間にわたって州島地形変化過程に与える影響が大きいため、注意が必要である。より具体的にその影響について考察するために、本研究では人

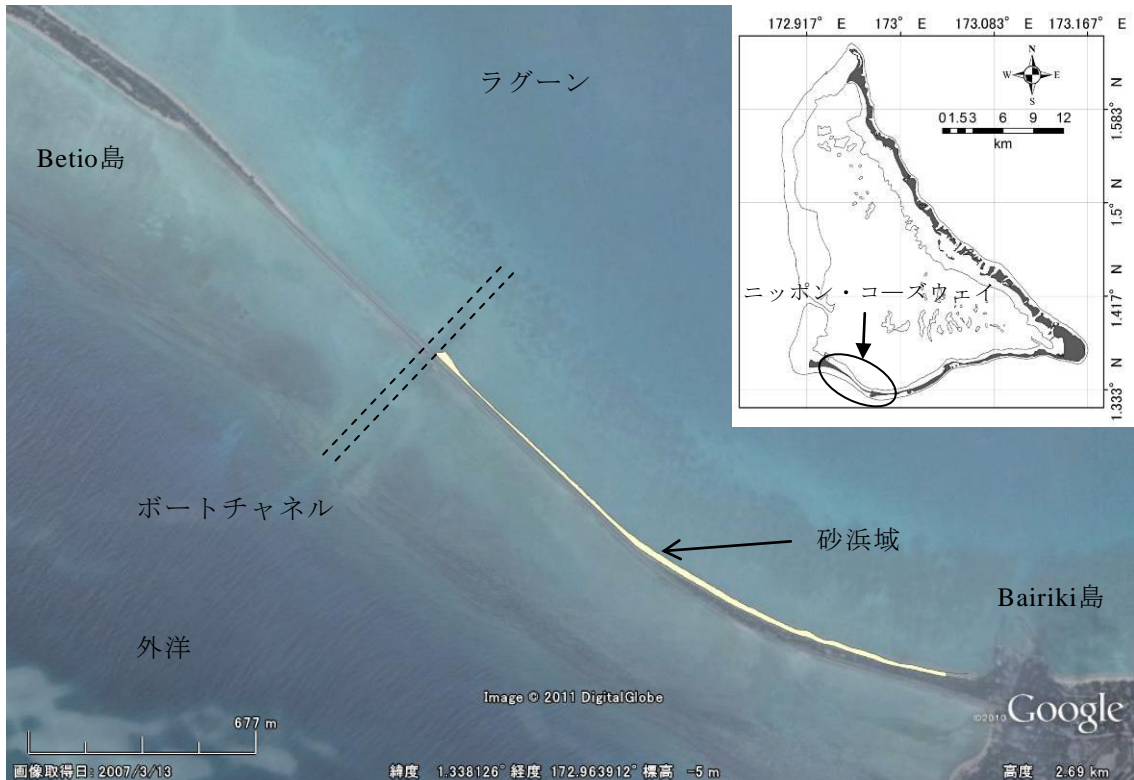


図11 タラワ環礁ニッポン・コースウェイ周辺の砂浜域

工的な地形改変の例としてキリバス国タラワ環礁に建設されたコースウェイおよびポートチャネルについての現地調査を行った。タラワ環礁の南西部に位置するニッポン・コースウェイは日本による援助によって建設されたコースウェイであり、西側のBetio島と東側のBairiki島を結ぶ全長およそ3.5kmのコースウェイである。ほぼ中央部には橋脚があり、その下には小型船舶の通行路となるポートチャネルがリーフフラットを掘削するかたちで建設されている。現地調査では漂砂および地形変化の特徴を把握するために、携帯型GPSを用いて砂浜の輪郭を計測した。図-11は砂浜域の計測結果を示している。図よりラグーン側の海岸のBairiki島側には連続した砂浜域が計測されているが、ポートチャネルを境にBetio島側では連続した砂浜は確認できなかった。これより漂砂の方向はBairiki島からBetio島に向かった方向で生じているが、ポートチャネルの存在によって沿岸漂砂の連続性が遮断され、下流側に沿岸漂砂が流れなくなった可能性が高いと考えられる。人工的な地形改変は州島の地形変化過程で重要である沿岸漂砂を大きく変化させる可能性があり、その変化が州島の地形保全に対して望ましく無い状況を作り出す可能性もあることが現地調査から再確認された。

上記のような考察から、本研究では構造物による州島保全は検討せず、養浜による侵食対策について検討することとした。養浜は侵食域に外部から調達した砂を投入し、人工的に侵食を抑え

表-6 養浜シナリオ

	Trigger	Area
NA-1	shoreline retreat by 1m	From Laura to Longisland
NA-2	shoreline retreat 5m	Same above
NA-3	shoreline retreat by 10m	Same above

*Nourishment every 10 years

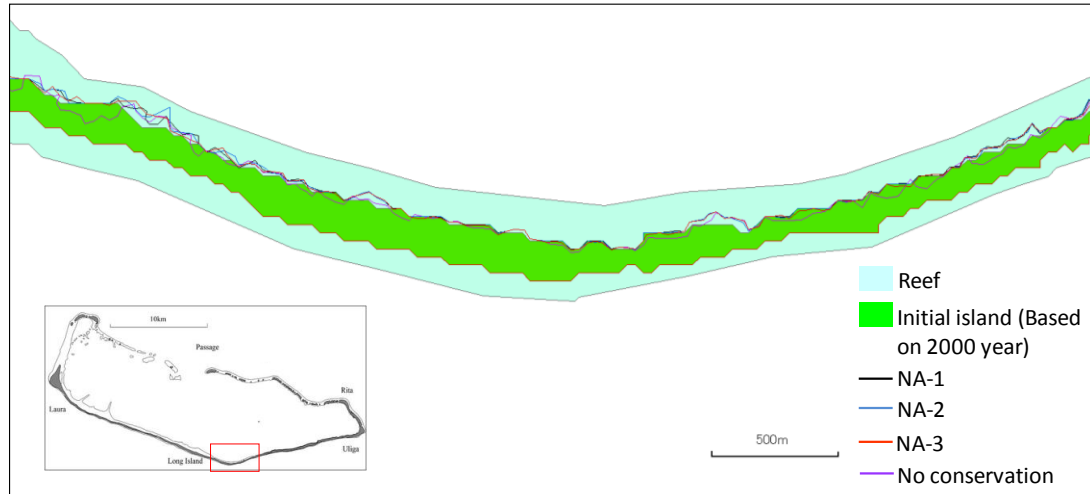


図12 ロングアイランド中部における養浜を考慮した地形変化

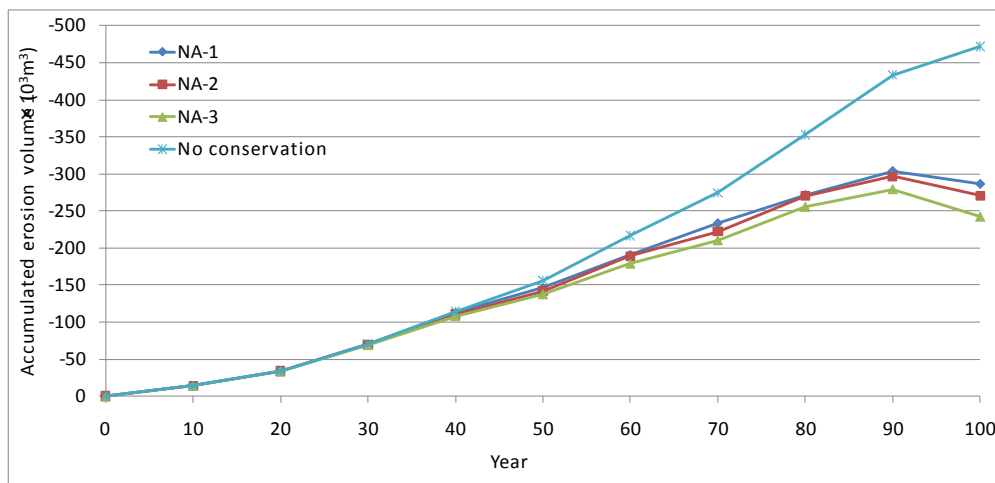


図13 養浜を考慮した場合の総侵食量の変化

る方法として日本では広く用いられている。投入した砂の歩留まりを高くするために最小限の構造物を建設することはあるものの、根本的に構造物に頼るわけではなく、地形の改変もほとんど発生しない。養浜において最も重要となる点は投入砂の確保であるが、本研究で明らかとなったラグーン内に堆積する流出砂を有効利用できるものと考えた。これによって、マジュロ環礁内で閉じた条件での侵食対策が可能となり、持続的な州島保全対策が可能となる。

本研究では表-6に示す3種類の養浜シナリオを設定した。それぞれのシナリオで養浜開始となる侵食の大きさが異なっており、汀線後退量が1m、5m、10mとした。また、養浜実施の対象範囲はローラ島からロングアイランドまでの範囲とした。DUDについては現状において砂浜が無く、ほぼ全ての海岸線で直立護岸による防護が行われていることから除外した。養浜の実施においては、養浜実施が必要と判断された時点における流出土砂量を養浜実施が必要なメッシュで均等に配分して加える処理を行った。

図12に養浜を考慮した場合の将来地形の計算結果（ロングアイランド中部）を示した。養浜を考慮しない場合では西側で激しい侵食が生じていることが確認できるが、全ての養浜シナリオで

その侵食に対応できていることがわかる。また、東側の海岸においても養浜対策の効果によって侵食域が無くなる結果となった。また、養浜によって局所的な地形が変化することで、その周辺の堆積域の堆積傾向に変化が生じていることも確認された。本検討においては新たに激しい侵食域が発生する箇所は確認されなかったが、養浜対策による局所的な地形変化が周辺の地形変化に及ぼす影響はより詳細に検討する必要がある。養浜対策の対象域における総侵食量の変化に着目したのが図-13である。40年後までは流出土砂の堆積が十分でなく、どの養浜シナリオにおいても十分な対策が実施できずに、対策無しの場合と同様の侵食量となっている。しかし、50年後から100年後までは流出土砂の堆積が加速するのと同様に養浜対策による侵食量の減少が確認された。100年後における総侵食量で見ると、全てのシナリオで養浜対策無しの結果と比較して総侵食量をおよそ30%減少させることができた。これより流出土砂を用いた養浜対策は、海面上昇影響下での州島保全対策における重要なオプションの一つとなることが確認された。さらに、養浜シナリオによっても効果がわずかながら異なっていることから、より効率的な養浜実施シナリオを検討することで、より侵食量を減少させることが可能であると考えられる。

(2) 土地被覆情報を用いた海岸管理計画策定の提案

1983年および2000年時点の、1970年比での減少率を比較すると、1970年～1983年の減少率が大きいことが判る。しかし、この値はローラ地区全域をまとめた減少率であるため、地区の局所がどのように減少していったのかについては議論することができない。このため、まず、本研究で作成した緑地地図のメッシュサイズ4mと、既存の地理情報のサイズ100mを合わせることを目的として、各緑地図上に100mメッシュを発生させメッシュ内に含まれる植生セルの割合を植生占有率(%)として算出した。分類結果を図-14に示す。1970年は島全土が植生で覆われているものの1980年、2000年と植生の占有率が減少を続けていることを見て取れる。また、図-15は、2つの年代間における植生占有率の増減を図化したものである。図より、1970年-1983年は地区全域で植生が減少し、1983年-2000年では島の北部およびラグーン側において占有率の低下が顕著であることが分かった。

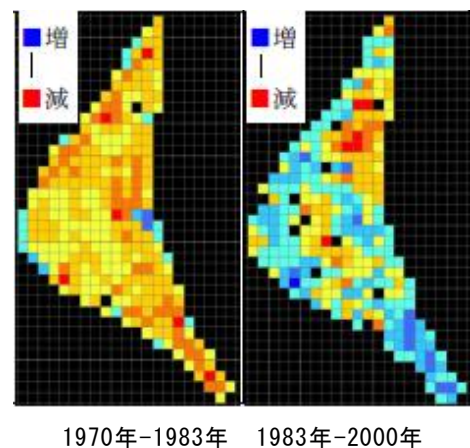


図14 各年代間の植生占有率の変化

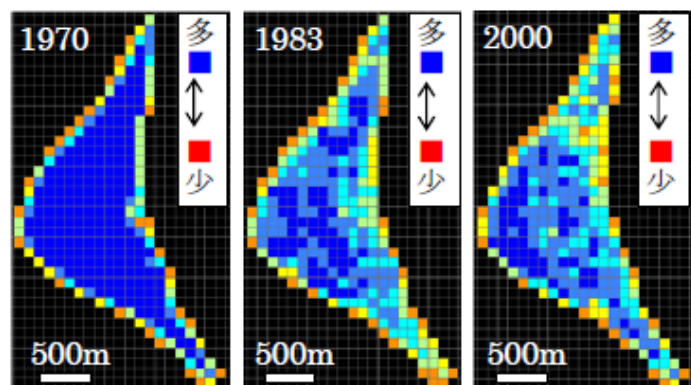


図15 各年代の植生占有率

(3) 海岸水質の調査

図-16 にアンモニア性窒素、硝酸性窒素の空間分布を示す。岸に近い地点で採水したことから、アンモニア性窒素濃度は外洋側でも比較的高い値となり、し尿汚染の可能性が示された。硝酸性窒素濃度は、ラグーン

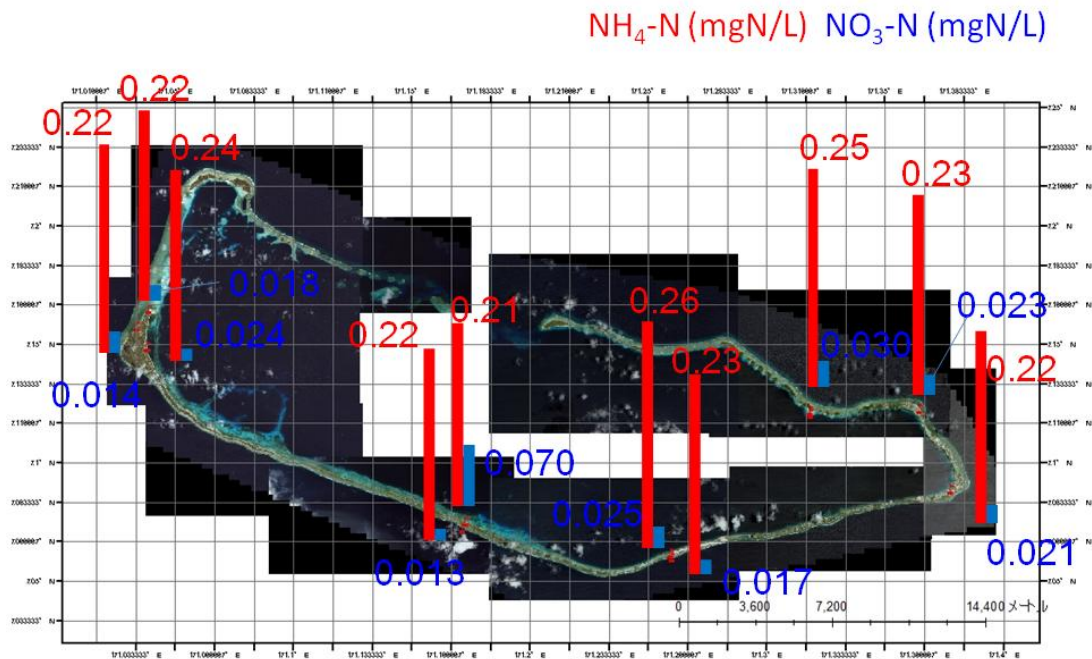


図16 海岸水のアンモニア性窒素、硝酸性窒素濃度

側の方が外洋側よりもやや高い結果となった。ラグーンでは外洋よりも海水交換が遅いことが関係した可能性がある。Osawa et al.¹³⁾は、マジュロの礁原の海水中の硝酸イオン濃度を調べており、概ね 1 μ mol/L 未満であることを報告している。単位の換算をすると 0.014mgN/L 未満となる。本調査ではこれ以上の値となったが、これは採水地点が岸に近かったためと考えられる。以上の結果から、マジュロの海岸水はし尿により汚染されている可能性が示された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

マジュロ環礁を対象として州島地形変化モデルの構築を行うと共に、現地調査結果から得られた実測断面地形変化量との比較から精度良くマジュロ環礁の地形変化を再現できたことを確認した。これより、マジュロ環礁の将来の地形変化を算定できるモデルが構築できた。そして、海面上昇を考慮した100年間の地形変化予測結果から、環礁北部のラグーン側では、水深の深い海域に非常に多くの土砂が堆積することが明らかとなった。さらに、計算されたラグーンへの流出土砂を利用した養浜対策の検討結果から、対策無しの条件と比較して総侵食量をおよそ30%減少させる効果があることが明らかとなった。また、養浜対策の適用条件をさらに検討することで、より効率のよい対策が可能になると考えられた。資源の少ないマジュロ環礁における州島保全対策においては、非常に有効なオプションになるものと考えられる。

このような州島保全策の検討においては、州島の地形変化過程を考慮した長期的な視点での対策が重要であり、キリバス国タラワ環礁での現地調査結果から、半恒久的な人工的地形改変によって沿岸漂砂を阻害することは、持続的な州島保全に対して望ましくない影響を与えることが予想された。

マジュロ環礁ローラ地区における植生減少が近年顕著であることは現地政府機関の方々が言われる所であったが、年代によって減少している地域が異なっていることは新たな知見になる。この現象は、生活活動が自然環境に与える負荷量が島嶼内で異なることを意味している。この点を考慮に入れた海岸防護策を策定してゆくことが重要である。

(2) 環境政策への貢献

以上の様な、科学的な知見は、マジュロ環礁において、住民・政府関係者に対して、説明を行った。

6. 引用文献

- 1) 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、(社)土木学会 第15回地球環境シンポジウム講演論文集、No.15、pp.129-133、2007.
- 2) 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、(社)土木学会土木情報利用技術論文集、Vol.16、pp.91-98、2007.
- 3) 桑原祐史・江田雄樹・横木裕宗・小柳武和・三村信男：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)地盤工学会 環境地盤工学シンポジウム発表論文集、No.8、pp.389-394、2009.
- 4) Yamaguchi, T., H. Kayanne, H. Yamano, Y. Najima, M. Chikamori, and H. Yokoki: Excavation of pit agriculture landscape on Majuro atoll, Marshall Islands, and its implications, *Global Environmental Research*, 9(1), pp.27-36, 2005.
- 5) 佐藤大作・横木裕宗：マジュロ環礁ローラ島における沿岸漂砂制御にむけた現地調査と数値計算、海岸工学論文集、第55巻、pp.1401-1405、2008
- 6) Xue, C.: Coastal Sedimentation Erosion and Management of Majuro Atoll Republic of Marshall Islands, SOPAC Technical Report, 254, 1-80, 1997
- 7) Booij, N. R., C. Ris, and L.H. Holthuijsen: A third-generation wave model for coastal regions 1. Model description and validation, *Journal of Geophysical Research*, Vol.104, No.C4, 7649-7666, 1999
- 8) Komar, P. D. and D. L. Inman: Longshore sand transport on beaches, *Journal of Geophysical Research*, 30, 5914-5927, 1970
- 9) Coastal Engineering Research Center (CERC): Shore Protection Manual, 1984
- 10) Fujita, K., Y. Osawa, H. Kayanne, Y. Ide, and H. Yamano: Distribution and sediment production of large benthic foraminifers on reef flats of the Majuro Atoll, Marshall Islands, *Coral Reefs*, 28, 29-45, 2009
- 11) SOPAC: Beach monitoring in Dud and Laura, Majuro Atoll, Republic of the Marshall Islands, SOPAC Preliminary Report, No. 88, ANNEX 2 Beach Profile Data, 1997
- 12) 例えば、佐藤大作・横木裕宗・桑原祐史・茅根創・三村信男：マーシャル諸島マジュロ環礁ローラ島における沿岸漂砂量分布に関する現地調査と数値計算、地球環境研究論文集、Vol.16、pp.131-136、2008
- 13) 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. *Mar. Pollut. Bull.* 60, 1279-1287, 2010

7. 国際共同研究等の状況

なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

〈論文（査読あり）〉

- 1) 佐藤大作、横木裕宗(2009)：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.
- 2) 桑原祐史・江田雄樹・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)地盤工学会 環境地盤工学シンポジウム発表論文集、No.8、pp.389-394.

〈その他誌上発表（査読なし）〉

- 1) Sato、 D. and H. Yokoki (2009): Numerical Simulation on the Longshore Sediment Transport and the Effective Island Conservation in Majuro Atoll、 Marshall Islands、 Proceedings of International Workshop on Erosion and Its Adaptation、 pp. 59-70.
- 2) Sato、 D. and H. Yokoki (2009): Numerical Calculation of the Sediment Transports along the Lagoonal Coast on Majuro Atoll、 PROCEEDINGS OF COASTAL DYNAMICS 2009、 Impacts of Human Activities on Dynamic Coastal Processes、 pp 1-11.

(2) 口頭発表（学会）

- 1) 江田雄樹・桑原祐史・横木裕宗・小柳武和・三村信男(2009)：沿岸域防護のためのゾーン図作成時の陸域土地被覆の分析、(社)土木学会 第64回年次学術講演会 講演概要集、VII-120
- 2) 江田雄樹・桑原祐史・横木裕宗・佐藤大作(2010)：マーシャル諸島マジュロ環礁を対象とした海岸防護レベル評価図作成に向けて、(社)土木学会関東支部第37回技術研究発表会、IV-57.
- 3) 江田雄樹・桑原祐史・横木裕宗・佐藤大作(2010)：南太平洋島嶼国を対象とした国土形状と緑地空間の研究、(社)土木学会第65回年次学術講演会、IV.（投稿中）
- 4) Sato、 D. and H.、 Yokoki (2010): Field Investigation and Numerical Calculation on Coastal Erosion in Atoll Islands、 International Forum 2010 “Effects of Climate Change on Natural Disasters and Their Adaptation”、 Mito、 Feb. 22.

(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）

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

なし