

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 －

横木 裕宗

茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター

316-8511 日立市中成沢町4-12-1

Tel: 0294-38-5219, Fax: 0294-38-5268, Email: yokoki@mx.ibaraki.ac.jp

Impacts on the Land Maintenance Mechanisms of Atolls Induced by the Climate Change and the Sea Level-rise －Field Survey on Majuro Atoll, the Marshall Islands－

YOKOKI Hiromune

Center for Water Environment Studies, Ibaraki University

Email: yokoki@mx.ibaraki.ac.jp

Abstract

According to IPCC Third Assessment Report, the mean sea level is projected to rise to 9 to 88 cm by 2100 relative to in 1990 due to the global warming and climate changes (IPCC, 2001). Various impacts are anticipated to be caused by the sea-level rise in coastal areas. As for the inundation risks for example, the potentially inundated area are expected to increase by 1.5 times relative to the present against 50cm sea-level rise according to the calculations using the global topographical data. Storm surges enhance the risk. In particular, the countries which consist of atolls like Marshall Islands and Tuvalu in the South Pacific region are exposed to the risk of inundation. This paper focuses on the impacts of global warming and sea-level rise onto the coastal areas of atolls, and presents the preliminary results of the field survey in Majuro atoll supported by Global Environment Research Fund (GERF), Ministry of the Environment, Japan.

1. はじめに

太平洋をはじめとする海洋上には、多くの島嶼があり、現在多くの国の人々が比較的小規模の島で生活している。また、地球温暖化、海面上昇が進行しており、IPCC (2001) によると、2100年には、全球平均気温で1.4～5.8℃上昇し、平均海面は9～88cm上昇すると予測されている。海面上昇および温暖化に伴う気候変動が島嶼国に及ぼす影響はさまざまであるが、面積や標高などの地形的な面で島嶼国は適応力が比較的小さいとされており、温暖化、海面上昇による影響は甚大になるものと考えられる。

本稿では島嶼の海岸のうち、サンゴ礁海岸、特に環礁州島海岸と取り上げて、地形的特性と海面上昇によって受けると考えられる影響を述べることにする。環礁州島は一般的に細く長いので、海岸における侵食・堆積は、州島の地形維持に直接影響することになる。そこで本稿では、海面上昇や高波浪が環礁州島の海岸地形ひいては州島の地形維持にどのような影響を及ぼすのかについて考察する。サンゴ礁そのものが温暖化、海面上昇から受ける影響としては、海面上昇による水没や海水温の上昇による白化の頻発などが挙げられている（例えば、原沢・西岡編 2003）が、本稿では言及しない。また、筆者が所属している環境省のプロジェクトで実施したマジュロ環礁への現地調査について調査内容と結果の概要を紹介する。

2. 環礁州島海岸における土砂収支の特徴

環礁とはサンゴ礁が中央のラグーンを囲むように環状に連なった地形のことをいい、そのサンゴ礁の上に形成された細長い島を州島とよぶので、ここでは環礁上に形成された州島を環礁州島とよんでいる。図1は典型的な環礁および環礁州島を示したものである。一般に見られる環礁ではサンゴ礁の幅は数百mから1km程度で、その上に形成されている州島の幅は広いところでも数百m程度である。また、州島の標高はせいぜい数m程度であることが多い。このような狭い地形では、降った雨はすぐに海岸に流出するか、地下に浸透するため、河川が形成されることはない。

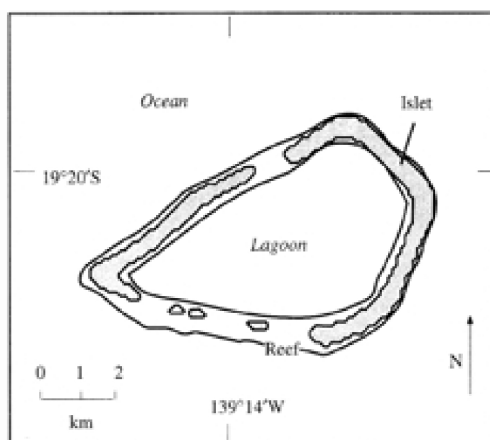


図1 環礁の例

（ツアモツの一環礁, Nunn 1999より）

規模の大きい火山島や大陸の海岸の底質（礫、砂、シルトなど海浜を構成する物質）は、河川の河口から流れ出た土砂や海崖の崩落によって生じた土砂が海岸に沿って運ばれ、海岸に供給されている。つまり、海岸の底質は陸域から供給されていることになる。しかし、環礁州島では河川や崖がないので、海岸の底質は陸域から供給されるのではなく、サンゴの破片や有孔虫の死骸などサンゴ礁で形成されたリーフから供給されている。

したがって、例えば日本の海岸の砂浜で海岸侵食問題を考える場合は、河口や崖からの土砂供給と沿岸漂砂の連続性が非常に重要となるが、環礁州島海岸での土砂収支を考察する場合は、サンゴの破片や、有孔虫による生物生産による底質の供給、波浪や流れによる沿岸漂砂による運搬、そしてリーフからの消失や州島の一部としての堆積が重要な要素となる。

3. 海面上昇・気候変動の影響

次に、波浪や流れによる沿岸漂砂が海面上昇によって受ける影響を考える。

サンゴ礁海岸は、一般に自然の防波堤を持った海岸といわれている。それは、リーフ

エッジで碎波することで外洋から入射する波のエネルギーが減衰し、リーフ上および海岸に入射する波は比較的穏やかになるからである。これは、一般の砂浜海岸と比較して、海岸の底質を移動させるエネルギーが小さくなっていることを意味する。そのため、サンゴ礁海岸は高波浪による侵食・堆積の影響を受けにくい、安定した海岸とされている。

しかし、海面上昇によってリーフ上の水位が上昇すると、入射波がリーフエッジで碎波しにくくなり、その結果、入射波のエネルギーが減衰することなく海岸に入射することになる。これは、底質が移動しやすくなり、沿岸漂砂による運搬が活発になることを意味する。また、リーフ上に比較的大きな波浪場が発生することになるので、リーフ上の底面流速が大きくなり、底質がリーフエッジを越えて流出する可能性が高くなることも考えられる。ここでは、海面上昇のみを考慮し、温暖化に伴う気候変動による波浪そのものの変化は考慮していない。入射波浪が変化するとその影響も評価する必要がある。

現状では、海面上昇によって有孔虫による生物生産が受ける影響を評価することは難しいので、それほど変化がないと仮定すると、海岸に入射する波浪エネルギーが大きくなることで、沿岸漂砂が大きくなり、土砂供給量（速度）が変化しなければ環礁州島全体にわたって土砂の運搬が活発となり、侵食・堆積傾向がより顕著になると考えられる。さらに、リーフエッジを越えて流出する底質の割合も増加することが危惧される。

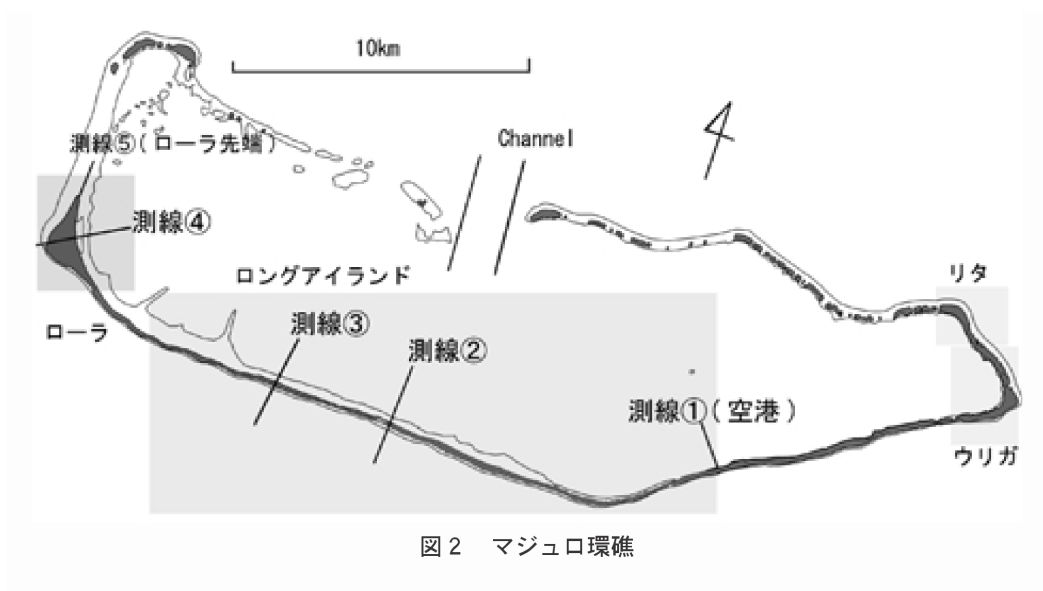


図2 マジュロ環礁

4. マジュロ環礁における現地調査

4.1 調査の概要

筆者は、気候変動・海面上昇に対する環礁州島での脆弱性評価と適応策の提案を目的とする、環境省地球環境研究総合推進費（課題番号 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、2003～）のプロジェクトに属しており、2003年より環礁州島の調査を行う機会に恵まれた。このプロジェクトは、代表者の茅根創氏（東京大学理学系研究科、地理・地質）、山野博哉氏（国立環境研究所、地理、リモートセ

ンシング), 山口徹氏 (慶應義塾大学, 考古学), 近森正氏 (慶應義塾大学, 帝京平成大学, 文化人類学) と筆者 (横木裕宗, 海岸工学) という多様な分野の研究者からなっている。また筆者と協力して調査研究を行う研究協力者として, 桑原祐史氏 (茨城大学工学部, 空間情報工学) も加わっている。

現地調査では, 海岸の踏査とともに, 流速計を設置して流動場の定点観測を実施した。これらの調査に際してマーシャル諸島共和国政府の許可が必要であり, 許可の取得と調査に関するアドバイスを, 環境保護局の C. McCLENNEN 氏および T. A. ISHODA 氏 (当時, 現在は海洋資源局) から得ることができた。特に, McCLENNEN 氏には, マジュロ環礁における海岸保全計画についての情報も提供してもらえるなど, 調査研究の成果の現地適用に向けて友好的な関係を築いている。

このプロジェクトでの現地調査は, 2003年と2005年にマーシャル諸島共和国のマジュロ環礁で, 2004年にツバルのフナフチ環礁で行った。本稿では2005年のマジュロの調査について紹介する。

現地調査の対象であるマーシャル諸島共和国の首都マジュロ環礁 (図2) は, 南太平洋 (北緯7度6分, 東経171度22分) に位置し, 伝統的な居住環境が保たれた地域があるものの, 比較的高度に都市化した環礁である。マーシャル諸島共和国の総人口約52,000人に対して, マジュロ環礁には約25,000人居住しており (1993年推計; DOUMENGE 1999), 近隣の島嶼国と比較しても, 都市人口が多いのが特徴である。

4.2 主な調査結果

マジュロ環礁の沿岸環境の概略を把握するために, 図2のリタ, ウリガ地区からロングアイランドを経てローラ地区にかけて踏査を行った。マジュロ環礁東部のウリガ・リタ地区は, 近代建築物と住宅・工場等が分布する都市域である。一方で, 環礁西部のロー



図3 マジュロ環礁の海岸風景 (a: ウリガ, リタ地区, b: ロングアイランド地区, c: ローラ地区)

ラ地区は, 2000年前に既に人類が居住していた痕跡が発見されている伝統的な居住域であり (YAMAGUCHI ほか 2005), 現在でも密度の高い樹林に覆われた地域となっている。しかし最近数十年では激しい海岸侵食に見舞われており (XUE 2001), 海面上昇の影響による将来の海岸侵食の加速が危惧されている。ウリガ・リタ地区とローラ地区の間にあるロングアイランド地区は, 細長い島 (州島) が連なっており, 細長い海岸が繋がっている。これら3地区の海岸の様子を図3に示す。図3より, ウリガ・リタ地区では, 海岸にゴミが投棄されもはや自然海岸とは言い難い状況である。それに比べてロングア

イランド、ローラ地区の海岸は自然の砂浜が豊富に残っている状況が分かる。

波浪や流れによる漂砂の場を推定するための基礎資料を得るために、いくつかの測線を設定して、海岸地形の断面測量を行った。断面地形の特徴としては、オーシャン側、ラグーン側ともに典型的なリーフ海岸であること以外に、オーシャン側は、汀線付近に砂礫があり、リーフはビーチロックとなっていた。一方ラグーン側は底質が砂の部分が比較的長く続き、リーフエッジに近づくとサンゴが見られた。一般的な環礁州島海岸では、ラグーン側よりオーシャン側の方が大きな波浪が来襲するので、リーフエッジ付近のサンゴの発達が顕著であるが、マジュロのロングアイランドの海岸では、以前調査したフナフチの海岸ほど顕著なサンゴの生息は見られなかった。これは、人間居住による水質変化の影響も考えられる。

図2で示した測線のラグーン側海岸において、リーフ上の適当な位置に電磁流速計を設置し流動場の定点観測を行った。流動場の特性を把握するために、観測された流速の時系列データから、波浪による往復流成分と、潮流による平均流成分とに分離した。その結果の一例を図4、5に示す。

図4は、ロングアイランド地区の測線 No. 3 のラグーン側海岸での観測結果である。この図からわかるように、ロングアイランド沿いの海岸では、平均流向が周期的に変動しており、これは潮汐流に対応している。また、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。平均流速と軌道流速ではほぼ同じ大きさとなっており、この海岸では波浪による流れと平均流（潮汐流）の大きさがほぼ同じであると言える。

一方、図5はローラ地区の先端付近の測線 No. 5 における観測結果であるが、潮汐に応じて平均流向が明確に反転していることが分かる。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分かる。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と考えられる。

以上の流速観測結果の考察から、ロングアイランド沿いの海岸では波浪による流れと潮汐流が拮抗しているのに対して、ローラ先端では明らかに潮汐流が支配的となっており、このことは土砂収支を含めた海岸管理を考える上で重要な視点となりうる。

5. まとめ

本稿では、環礁州島の海岸が、海面上昇・気候変動に対してどのような影響を受ける可能性があるかを検討し、特に波浪場の変化とそれに伴う土砂収支の変化、ひいては環礁州島の地形維持機構へ及ぼす変化に着目して考察した。また、筆者が所属する研究プロジェクトで実施されたマジュロ環礁における現地調査および調査結果の概要について述べた。

土砂収支という海岸工学的な視点に限っても、将来受ける影響を定量的に評価するにはまだまだ知見が足りない状況である。今後も現地調査を中心として、さらに室内実験や数値モデルによる開発も援用して、環礁州島の温暖化、海面上昇によって受ける影響を予測し、さらに効果的な適応策を検討していきたい。

謝辞：本報告で述べた現地調査は環境省地球環境研究総合推進費（課題番号 B-15、代

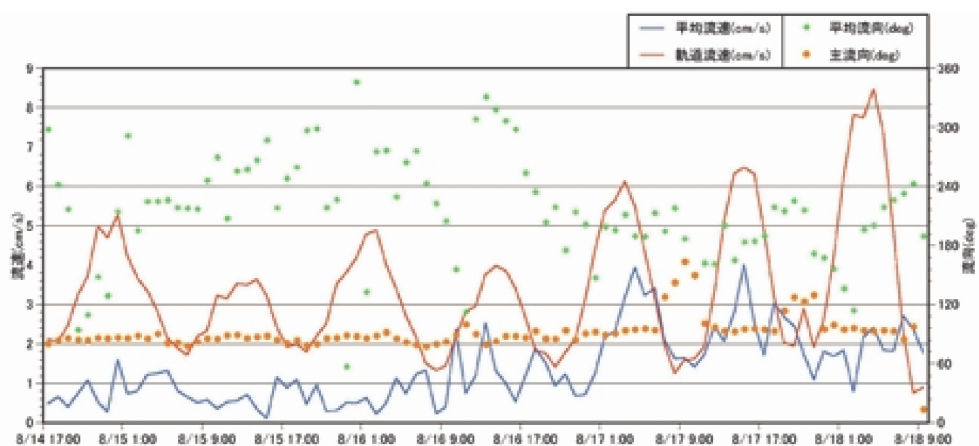


図4 測線 No. 3 における流速観測結果

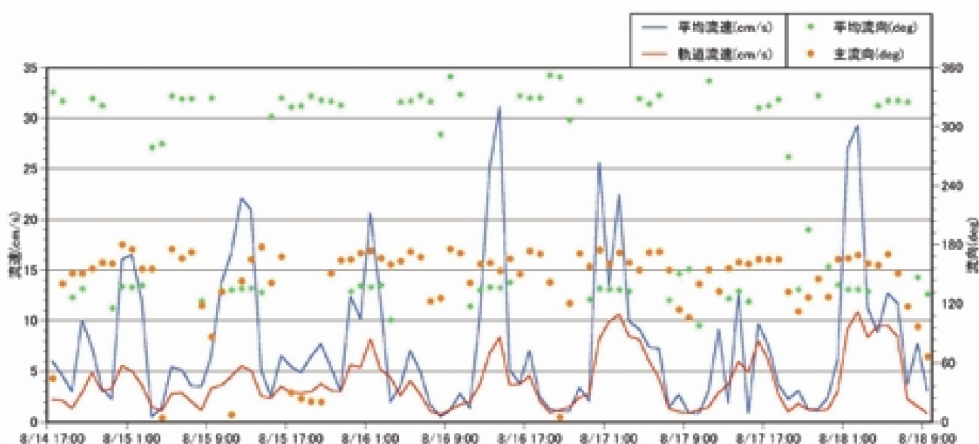


図5 測線 No. 5 における流速観測結果

表者：茅根創（東京大学助教授）の援助をうけて実施されたものである。また報告の内容には、現地調査の際に研究メンバーの間で交わされた様々な情報や意見交換の結果が反映されている。研究代表者の茅根創氏をはじめ、研究参画者の山野博哉氏、山口徹氏、近森正氏、研究協力者の桑原祐史氏に深甚な謝意を表します。

参考文献

- 原沢英夫・西岡秀三編 2003. 地球温暖化と日本 自然・人への影響予測第3次報告，古今書院，411p.
- 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，土木学会，1381-1385.
- 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，第14回地球環境シンポジウム講演論文集，

pp.241-246.

- DOUMENGE, J-P. 1999. Urbanization, In Rapaport, M. ed.: The Pacific Islands: Environment and Society, The Bess Press, Inc., 315-325.
- IPCC 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Cambridge University Press, 1032p.
- NUNN, P. D. 1999. Geomorphology, In Rapaport, M. ed.: The Pacific Islands: Environment and Society, The Bess Press, Inc., 43-55.
- XUE, C. 2001. Coastal erosion and management of Majuro atoll, Marshall Islands, Journal of Coastal Research, 17, 4, 909-918.
- YAMAGUCHI, T., H. KAYANNE, H. YAMANO, Y. NAJIMA, M. CHIKAMORI, and H. YOKOKI 2005. Excavation of pit-agriculture landscape on Majuro atoll, Marshall Islands, and its implicaitons, Global Environmental Research, 9 (1), 27-36.
- YOKOKI, H., H. YAMANO, H. KAYANNE, D. SATO, Y. MINAMI, S. ANDO, H. SHIMAZAKI, T. YAMAGUCHI, M. CHIKAMORI, A. ISHODA, and H. TAKAGI 2005. Comparison between longshore sediment transport due to waves and long-term shoreline change in Majuro atoll, Marshall Islands, Global Environmental Research, vol.9, no.1, 21-26.