

特集：気候変動による水災害予測と適応策

ツバル国で生じている課題と共同研究 「海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持」

山田浩次*

1. はじめに

筆者は、2008年3/2～14にかけて実施されたツバル国気候変動対策プロジェクト形成調査¹⁾と、2009年3/7～19に実施された後述する共同研究「海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持」の第1回現地調査の2度にわたってツバル国フォンガファレ島を訪問し調査する機会を得た。本稿では、フォンガファレ島で生じている海岸侵食等の問題、それらの問題に地球温暖化が及ぼす影響、その適応策を目指して始められた共同研究「海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持」の概要を紹介する。

2. ツバル国フォンガファレ島の概要

ツバル国は、日本の南東約6,400kmの南太平洋上南緯5度から10度、東経176度から180度に位置し(図-1)、6つの環礁と3つの島が点在している。面積25.9平方kmの国土に人口9,652人(2006年、太平洋共同体事務局)が居住している。

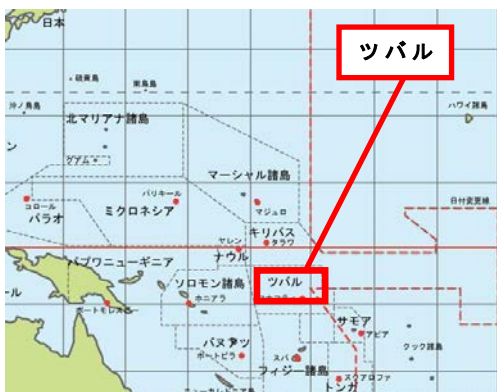


図-1 ツバル国位置図

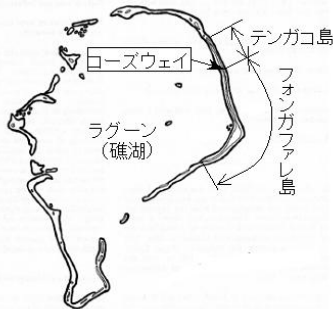


図-2 フナフチ環礁

首都であるフナフチのあるフォンガファレ島は、フナフチ環礁を形成する環礁州島の1つであり、この島に、同国の人口の約半分に相当する4千人以上が居住している(図-2)。

環礁とは大洋上に発達する環状のサンゴ礁で、州島に囲まれた中央部の海は礁湖(ラグーン)と呼ばれる。州島はサンゴ礁に生息するサンゴと有孔虫により生産された砂礫が、波浪や潮流により運搬され、波浪による打ち上げ等によって堆積することにより、形成されてきたものと考えられる。

フォンガファレ島では、海岸侵食によって倒れているヤシが見られたり、満潮時には地盤から海水が湧出し低地が浸水するなどの現象が起きており、マスメディア等では「海面上昇の影響等を最も早く受ける国」等として紹介されている²⁾。

島は、外洋側のストームリッジとラグーン側のビーチリッジに囲まれている(「リッジ」とは英語で峰、尾根などの意味)(図-3)。

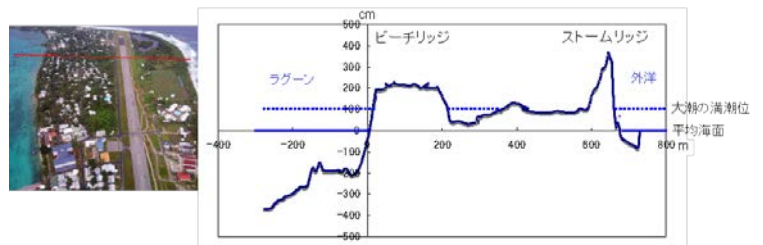


図-3 フォンガファレ島の地形(東京大学茅根教授より提供)

ストームリッジは、外洋からの激しい波浪でサンゴ岩の栗石(長径30cm程度)等が打ち上げられ、海岸に沿って帯状に堆積したものであり(写真-1)、高さは標高4m程度で、住宅地等を越波から守る自然の堤防の役割を果たしている。

ラグーン側のビーチリッジは、サンゴ岩の小レキ(直径数cm～十数cm程度)と有孔虫が生産した直径1mm程度の砂(いわゆる「星の砂」)が堆積して形成されたものであり、高さは標高2～3m程度となっている(表紙写真参照)。ビーチリッジ上は、住宅地等として利用され、政府庁舎などの公共施設も建設されている。

外洋側のストームリッジとラグーン側のビーチリッジとの間は、標高1m前後の低地である。同島では、大潮の満潮位は平均海面から約1m高くなる。地盤は

Present issues in Tuvalu and Joint study “Eco-technological management of Tuvalu against sea level rise”

*土木用語解説：潮位と海面上昇



写真-1 外洋側の海岸
左に見えるのがストームリッジ

透水性が高く、潮が満ちてくると、地盤から海水が湧出し、低地は浸水する（表紙写真参照）。断面図からも低地の標高は、大潮時の海水面より低くなっていることがわかる。IPCC第4次報告書（2007）では100年後の平均海面水位が18～59cm上昇すると予測されており、海面上昇の影響は、このような州島の島嶼国では標高の高い土地を有している国と比較してより深刻な問題である。

3. フォンガファレ島で生じている課題

フォンガファレ島では、海面上昇がそれほど顕在化していない現状においても、浸水や海岸侵食が問題となっている。

フォンガファレ島では、50年間潮位が記録されており、それによるとフォンガファレ島の50年間の海面上昇量は10cm前後である³⁾。図-3の断面図と併せて考えると、低地における浸水は昔から発生していたものであることがわかる。過去の空中写真や地図データによれば、低地に居住地が拡大してきたのはこの20年ほどであり、浸水が問題になる大きな要因の1つは、人口の増加によってもともと沼地、マングローブ林、タロイモ田等だった低地まで利用しなければならなくなったことが挙げられる⁴⁾。

海岸侵食については、過去の航空写真などによると、1940年代はラグーン側には切れ目なく砂浜が存在していた⁵⁾が、現在では海岸に砂浜はほとんどなく、サ



写真-2 侵食傾向がみられるラグーン側の海岸

ングの基盤岩の上にサンゴ岩の浜がわずかに残っているだけである（表紙写真参照）。一部に残る砂浜は、幅20m程度（干潮時）、前浜勾配はおおむね1/10程度で、満潮時にはほぼ水没する。浜の陸側には50cm程度の段差（浜崖）が生じているところがあり、海岸が侵食されている傾向にあることがわかる。そのすぐ背後には人家やヤシの林などがあり、海岸侵食によって倒れているヤシも見られる（写真-2）。

フォンガファレ島のビーチリッジを構成する砂は、サンゴのかけらだけでなく有孔虫の砂が半分以上を占めている⁶⁾。フォンガファレ島周辺のサンゴや有孔虫の生息状況を調べると、外洋側リーフや斜面で生息密度が高く、ラグーン内の生息密度が極端に低いことがわかった。島の砂浜を形成する砂礫の生産は外洋側のリーフや斜面が主体であると考えられる。

島の南北端のラグーン側には、延長数百m、幅30m程度の砂や小レキの浜がある。また、航空機からフナフチ環礁内の他の州島を見ると、外洋側からラグーン内に向かって漂砂が流れ込んで堆積している地形が観察される（写真-3）。これらの状況から、ラグーン側の砂浜を構成する砂は、外洋側から波浪によって環礁州島間の開口部を通してラグーン側に流入し、ラグーン内の波浪によって沿岸漂砂として運搬され、岸に打ち上げられ砂浜を形成していると考えられる。

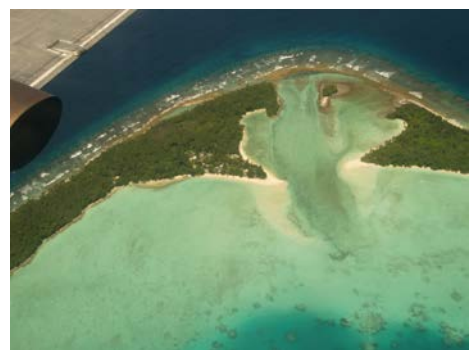


写真-3 環礁の開口部から砂が流入する様子
（フナフチ環礁フナファラ島）

フォンガファレ島では、これまで様々な人工的な土地の変更が行われてきている。現在の空港は、ストームリッジとビーチリッジとの間の湿地を第二次世界大戦中に米軍が埋め立てて建設したものである。埋め立てるための土砂を調達するために、至るところが掘られたようである。また、ラグーン側の海岸付近も埋立てが行われたようである。

フォンガファレ島とすぐ北のテンガコ島はわずか数十m離れており、人工的に結ばれている。これは、空港建設のための土砂をテンガコ島からフォンガファレ

島に運ぶために、第二次世界大戦中に米軍が両島の間を盛土し、さらに後になってコンクリート等で固められたようである。この上は道路となっており、地元ではコーズウェイ (Causeway) と呼ばれている (図-2及び写真-4)。もともと両島の間は、外洋とラグーンとが海でつながっていたが、両島間の開口部をコーズウェイによって人工的に結んだ結果、外洋からラグーンへの砂の供給を遮断してしまった可能性がある。

ラグーン側の海岸には、規模は小さいものの、船着場など汀線と垂直方向の沿岸構造物がいくつか見られる。なお、フォンガファレ島で最も大きい港の栈橋は、杭構造となっている。これは、ケーソンなど不透過性の構造物に比べると漂砂の遮断等の影響は少ない。

このようにラグーン側の海岸では、土砂の採取、埋立、舟着場の建設など人工的な土地の改変が行われている。波浪などの自然的な作用と人工的な土地の改変等が海岸侵食の原因になっていると考えられる。

また、人口増等にもなう海の水質悪化も、海岸侵食と関係があると考えられている。現在、生活排水については、ほとんど未処理のまま海や沼に排出されている。また、多くの豚が飼育されているが、その糞尿もそのまま海や沼に流入している。住宅地等が多い地区付近のラグーンでは、サンゴ礁が藻で覆われ、サンゴが大幅に減少してきていると考えられる。また外洋側のリーフがサンゴや有孔虫の生息場となっていることは先に述べたが、現地調査の結果、人口が多く豚舎も多い島中心部付近では外洋側でもサンゴや有孔虫の生息密度が低いことが確認されている。

このように、人口が増加したり、生活が都市化することによって、ゴミや生活排水等が増加する。ゴミや生活排水等が増加することによって、地下水や海水の水質が悪化する。地下水の水質が悪化すると、水不足がより進行する。また、海水の水質が悪化することにより、サンゴ等の生息環境が悪化する。サンゴ等は砂の供給源となっており、サンゴ等が減少すると、海岸侵食がより進行すると考えられる。

4. 地球温暖化が及ぼす影響

前章で述べた浸水や海岸侵食等の課題は、フォンガファレ島 (ツバル国) でローカルに発生している課題であるが、一方でグローバルな地球規模の気候変動によって、フォンガファレ島で生じている課題はより深刻化していくおそれがある。

例えば、海水面の上昇により土地が水没し汀線が後



写真-4 コーズウェイ (テンガコ島側からフォンガファレ島を撮影、左が外洋、右がラグーン)

退する。さらに、台風の激化に伴い高波浪が増加すること等によって、海岸侵食がより進行していくと想定される。

海面水位の上昇は、高波災害の危険性増大をもたらす。また台風の激化に伴い、気圧低下による海面の吸い上げが大きくなるとともに、風による吹き寄せや波浪が大きくなる。さらに、砂浜の侵食が進行すると、消波機能が低下する。また海面上昇でリーフの水深が大きくなると、サンゴ礁の浅瀬が持つ消波機能が低下する。このように、海面水位の上昇や台風の激化により、高波による危険性が增大することが想定される。

また、海水温度が上昇することによりサンゴの生息環境が変化し、仮にサンゴが減少すると、さらに海岸侵食が進行したり、高波による危険性が增大する可能性がある。

一方、海面水位が上昇すると地下水に塩分が混入しやすくなり、飲料水等として利用しづらくなる。また、気候変動により降雨パターンが変化すると、水不足がより深刻となるおそれがある。

これらの懸念は、フォンガファレ島やツバルに限ったものではなく、環礁州島やサンゴで守られている島嶼全般に共通するものである。

5. 共同研究「海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持」

これまで見てきたように、ツバルの抱える課題は海面上昇で島が沈む、という単純な図式ではなく、自然的・人為的なさまざまな要因が関わっている。すなわち、波浪などの自然的作用に、外洋側のリーフに生息するサンゴや有孔虫によって生産される砂礫が波浪や潮流によって運ばれ島を形成する「州島の形成システム」の人口増や地形改変等に伴う劣化が加わることによる海岸侵食や波浪災害の発生、人口増によって大潮時に浸水する低地を利用せざるを得ない居住形態等、

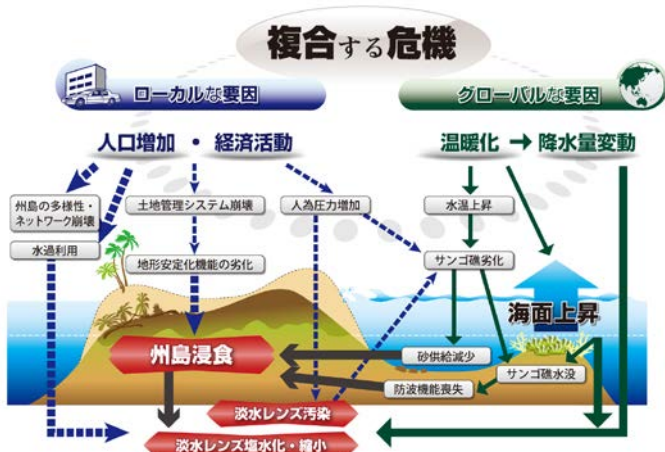


図-4 州島が抱える課題の模式図 (東京大学茅根教授提供)

既に生じているローカルな課題の上に、グローバルな地球温暖化の影響が加わりこれらの問題をより深刻化させるおそれがあり、さまざまな中長期的課題が複合していると言える(図-4)。

これらを解決するには、海岸侵食や高潮高波による越波被害、浸水被害など生活を脅かす緊急課題への対応と並行して、中長期的な島の形成メカニズムを理解し、課題を分析して原因を取り除き、島が本来持っている形成システムを回復し、将来予想される温暖化の影響に備えて島の持つ復元力を高めることが必要である。

そこで、東京大学、国立環境研究所、茨城大学、国総研、及びツバル国・関係研究機関による共同研究「海面上昇に対するツバル国の生態工学的維持」が企画され、(独)科学技術振興機構と(独)国際協力機構が連携して行う事業「地球規模課題対応国際科学技術協力事業」に採択された(2009年～13年、代表者：茅根創)。

この研究では、有孔虫及びサンゴ・リモートセンシング・海岸工学の各分野の研究者が協力し、有孔虫・サンゴの分布を調査するとともに、現在の島における砂の生産・運搬・堆積過程を明らかにし、まず島のハビタット・砂収支地図を作成する。そして、有孔虫やサンゴの生息や海岸侵食などにおける自然的・人為的影響、及び海面上昇の影響を定量的に評価する。そのうえで、島の維持を阻害している要因を取り除き、砂の生産・運搬・堆積を促進し砂浜を回復する方法を提案する。具体的には、生態系修復による砂生産の促進、砂の運搬・堆積過程への人為的補助、養浜などの各種手法による砂浜回復効果の評価を行い、評価結果を元に砂浜回復の取り組みを試行する。

また、本研究はツバル国との共同で実施され、5年間の研究が終了した後も現地機関による継続的自律的

モニタリング体制を構築することも目指している。

本研究は2009年より開始され、既に有孔虫分布や砂浜地形等の調査が開始された。先に述べたような、外洋側リーフのサンゴや有孔虫で生産された砂礫が州島の間からラグーンに供給されている状況、雑排水が出るところでは砂礫生産源となるサンゴや有孔虫の生息密度が低いこと等がわかってきている。

今後は今回の調査結果に加え、地形・波浪・流動調査、過去の地形・気象海象データ収集などを元に、フオンガファレ島周辺の沿岸漂砂の主たる方向を推定し、砂浜消失の実態を明らかにし原因を推定する。有孔虫・サンゴの詳細な分布調査や水質調査の結果等も合わせハビタット・砂収支地図を作成し、自然・人為影響評価、温暖化影響評価、対策評価を行っていく予定である。国総研は、主に海岸保全対策の立案評価の部分で研究に貢献することとなっている。

本研究の成果はツバルのみならず、世界に約500箇所ある環礁州島における温暖化適応策にも応用することが可能であり、日本及び世界のサンゴ礁海岸の保全にも役立つものと考えられる。

参考文献

- 1) 泊宏 山田浩次：ツバル国の現状と気候変動による影響、「河川」2008年7月号、pp.107-112、2008
- 2) 例えば、毎日新聞2008年1月9日朝刊「暖かな破局：第2部・地球からの警告」/7
- 3) Church, White, Hunter：Sea-level rise at tropical Pacific and Indian Ocean islands, Global and Planetary Change 53, pp.155-168, 2006
- 4) Yamano, Kayanne, Yamaguchi, Kuwahara, Yokoki, Shimazaki, Chikamori：Atoll island vulnerability to flooding and inundation revealed by historical reconstruction: Fongafale Islet, Funafuti Atoll, Tuvalu. Global and Planetary Change 57, pp.407-416, 2007
- 5) Webb：Tuvalu technical report - Funafuti Atoll, South Pacific Applied Geoscience Commission (SOPAC) Project Report, vol.54. Suva, 2006
- 6) 茅根創：島嶼国における環礁州島の現状と課題、「海岸」第48巻 第1号、pp.27-32、2008

山田浩次*



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室主任研究官
Koji YAMADA