

## ツバル国フォンガファレ島西岸の海岸保全に関する考察

宇多高明

## 1. はじめに

Tuvaluは、地球温暖化に伴う海面上昇により水没の危機にあるとされている。しかし実際には、首都のあるFongafale島への人口集中（2012年で約5000人）により海岸線近傍まで土地利用が進んだことから波浪災害を受け易くなり、同時に、住民と飼育されている約5000頭の豚のし尿処理がなされていないことから水質が悪化してサンゴ礁の健全な機能が失われるなど、人為impactへの対処こそが課題となっている<sup>1)</sup>。とくに首都のあるFongafale島では利用可能な土地が狭く、lagoon側の海岸線近傍まで住宅地が迫ったため高潮位時における侵食や越波を見過ごすことができなくなった。これらへの対処法の検討にあたって問題となるのは、国土がサンゴ礁からなるため建設資材の調達が容易でないことである。一方、Maragos et al.<sup>2)</sup>が述べたように、1972年10月にTuvaluに襲来したCyclone Bebe時には、大量のサンゴ礁が海岸へ打ち上げられたことを考慮すれば、高波浪時に打ち上げられた礫材を周辺影響が起らない範囲で利用することも考えられる。宇多ら<sup>3)</sup>は、このような観点よりFongafale島西岸を対象としてサンゴ礁起源の礫と砂を用いた養浜手法について検討したが、ここでは2回の現地踏査（2012年6月5日と2013年2月28日）と衛星画像をもとにFongafale島西岸の今後の海岸保全について考察した。

## 2. Fongafale島西岸の対象地区の地形概況

Fongafale島はTuvaluのFunafuti Atollに位置し、南北10kmにわたって細長く伸びた洲島であり、首都もこの島にある。図-1はTuvalu中心部の2010年6月25日撮影の衛星画像を、また図-2、3は図-1の区域A、Bの拡大画像を示す。これらの衛星画像には写真撮影地点番号も示す。図-3に示すように西岸では海岸線近傍まで住宅地が迫っているが、海岸線には2か所（地点5の南側と地点10、11付近）に狭い砂浜がある。中央部の砂浜は、沖合にある岩礁の背後で発達していることから、天然の岩礁による波の遮蔽域に形成された舌状砂州であって、現況ではほぼ安定状態にあると考えられる。また、舌状砂州の北側には太平洋戦争中に米軍が建設したCatalina飛行艇のRampが残されている。

## 3. 現地状況

## (1) Fongafale島南端部のStorm ridge

サンゴ洲島において外洋波の直接的作用を受ける場所では、高波浪時にサンゴ礁起源のサンゴ礫が陸向きに運ばれ堆積して平均海面上2~3mの高さを有するstorm ridge<sup>1)</sup>が形成される。Fongafale島の東側海岸は太平洋の荒波の作用を常時受けるためこの条件をよく満足し、海岸線を縁取るstorm ridgeが海岸線と平行に伸びている。この状況を示すのが写真-1であり、1/2~1/3と急勾配の前浜斜面が形成されている。そして礫浜の海側斜面は陸側と比べ礫の移動が活発で、摩耗が進むため堆積礫が白いのが特



図-1 Funafuti Atoll に位置するTuvaluのFongafale島の衛星画像



図-2 Fongafale島西端の区域Aの衛星画像と写真撮影地点



図-3 Fongafale島中央部の区域Bの衛星画像と写真撮影地点

徴である。前浜の急勾配斜面は汀線付近で終わり、その沖はリーフの平坦面へと繋がる。このような急勾配斜面はサンゴ礫の平衡勾配が $1/2 \sim 1/3$ と急なため、リーフの平坦面上では安定的に堆積できず、不透過の壁体（ここでは島）を支えにして上記平衡勾配となるまで礫が堆積したことにより安定した斜面ができたと考えることができる。前浜に堆積したサンゴ礫は空隙が大きく、打ち上がった海水は急速に浸透する。写真-2は、前浜での礫径の測定状況を示す。径 $5 \sim 20\text{cm}$ の礫が堆積しており、大部分は摩耗が進んだ円礫で、扁平なものが多かった。

写真-1の礫バームは汀線からかなり高い場所まで立ち上がり、storm ridgeを形成した後標高が低下する点において、波の作用で形成された天然の堤防といえる。しかも礫層は浸透能が非常に大きいことから、不透過斜面と比べて波の打ち上げ高も低下する機能を持ち合わせている。このことから、サンゴ洲島の海岸保全においては上記storm ridgeをできる限りそのまま残すことが必要なだけでなく、lagoon側で海岸保全を進める際にはこの機能を模倣することが有効と考えられる。

(2) 島のlagoon側 (Viaku Lagi Hotel以西)

ツバル滞在中にはFongafale島唯一のホテルであるViaku Lagi Hotelに滞在したが、このホテルの西隣にはコンクリート栈橋が伸びている（写真-3）。この栈橋は干潮時汀線付近までは不透過の壁体で

あって沿岸漂砂を阻止するが、その沖は小規模な橋梁となっており、小型船の乗り降りにも利用されている。一方、この栈橋の南180mには突堤が伸びている。この突堤を栈橋から望んだのが写真-4の矢印aである。この突堤は長さが46mで、船着き栈橋兼用でありコンクリート製であった。突堤aから西側を望むと写真-5のように陸側端には礫が堆積して小高いバーム (beach ridge: 外洋側のstorm ridgeと区別) が形成され、背後の植生も安定していた。これと対照的に、突堤aの北側隣接部では侵食が進むとともに直立護岸が破壊され、越波により背後地の侵食が起きていた（写真-6）。護岸背後地の越波による侵食状況を写真-7に示す。陸地へと海水が侵入している状況がよく分かる。このようにViaku Lagi Hotelの西側区域にあっては北向きの沿岸漂砂が卓越しており、この沿岸漂砂が写真-4の矢印aで示す不透過栈橋により阻止されたため、栈橋の南側では堆積が、北側では侵食が起きたことが分かった。

(3) 島のlagoon側 (Viaku Lagi Hotel以北)

既に写真-3に示したように、Vaiaku Lagi Hotelの西隣には汀線付近に不透過構造を有する栈橋が伸びている。礫は汀線に沿って前浜上を移動する特性があるため、礫の沿岸方向の移動がこの不透過栈橋により阻止されていた。この栈橋上から南向きに望む海岸状況は既に写真-4に示した通りであり、満潮時汀線付近には礫が堆積していた。一方、栈橋上か



写真-1 外洋側に伸びたstorm ridge



写真-2 storm ridgeを構成する礫の径



写真-3 Viaku Lagi Hotelの西隣にあるコンクリート栈橋

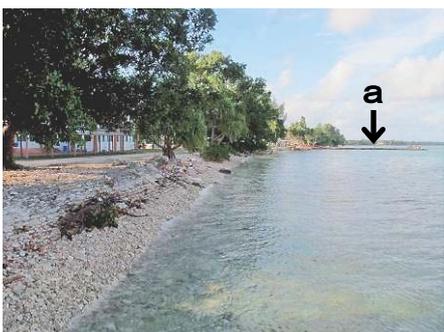


写真-4 Viaku Lagi Hotelの西側に伸びた突堤a

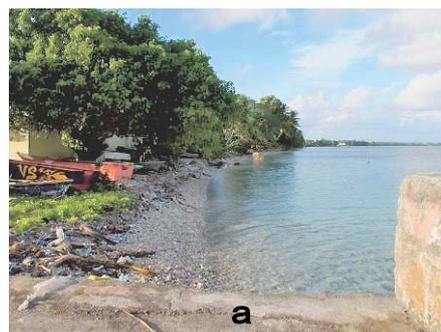


写真-5 突堤aの西側に堆積したサンゴ礫



写真-6 突堤a東側の波の直接作用を受ける護岸

土研センター

ら北向きに海岸状況を望んだのが写真-8であるが、礫はほとんど堆積しておらず傾斜護岸の基礎が露出していた。このようにVaiaku Lagi Hotelの西隣にある棧橋を境として南側では礫が堆積する一方、北側では侵食されていたことから、この棧橋付近でもまた北向きの沿岸漂砂が卓越し、それが突堤状の施設により阻止されたことが明らかである。とくに写真-8の矢印b付近では満潮時には護岸の前面水深が大きくなって越波が著しいと推察される。

写真-8においては、護岸の北側には砂浜が遠望できる。この砂浜は、図-3の衛星画像に示したように、沖合にある浅瀬による波の遮蔽効果により細砂が堆積し、舌状砂州として形成されたものである。写真-8の矢印c付近の砂浜状況を写真-9に示す。Vaiaku Lagi Hotel前面の海岸と大きく異なり広い砂浜があった。さらにこの砂浜の中央部では、満潮時汀線付近がサンゴ礫で覆われていた(写真-10)。礫浜の勾配はほぼ1/3.5であり、礫の堆積域の沖側の砂の堆積域とはきれいな遷急線をなして堆積していた。

海浜の北東端を望んだのが写真-11で、沖合の浅瀬が狭くなるとともに砂浜は消失し、礫浜に変わっていた。しかしこの地点のわずか北側では、写真-12のように一面がコンクリート片で覆われた状態であり、汀線に沿う歩行も非常に困難な状況であった。地元住民の多くはこのような海岸状況の改善を

望んでいた。なお散乱するコンクリート片は太平洋戦争当時造られた護岸の残骸である。

(4) 島のlagoon側 (Catalina Ramp以北)

今回の調査ではCatalina Ramp以南の区域での礫養浜の可能性について検討した<sup>3)</sup>が、図-3に示したようにCatalina Ramp以北でも海岸線近くまで家屋が密集し、とくにこの付近には学校など公共施設が並んでおり、この付近の海岸防護も見逃すことができない状況であった。図-3に示したようにCatalina Rampから北側の地点15までは海岸線がほぼ直線状に伸びているが、地点15で海岸線が左回りに40°も変わるから、この凹状の汀線を有する区域では、本来北寄りの風波の作用により砂が堆積してもよい。しかし、砂浜は全く存在しなかったことから、北部からの沿岸漂砂の供給はほとんどないと見られた。同時に、地点16沖にはリーフ掘削により形成された溝が伸びているから、この深みを通る波浪の侵入も無視できないと推察された。

Catalina Rampの北側の地点で南向きに望んだ海岸状況を写真-13に示す。写真は2013年2月28日の満潮時に撮影されたものであるが、汀線が家屋のごく近傍まで迫っていた。学校前の海岸状況を写真-14に示す。海岸線には防護施設は全くなく、コンクリート片の散乱した状況はCatalina Ramp南側



写真-7 越波により侵食された護岸背後の状況



写真-8 Vaiaku Lagi Hotel前面の護岸基部まで露出した侵食



写真-9 写真-8のc付近の砂浜



写真-10 満潮時汀線付近がサンゴ礫で覆われ、下位には砂浜のある複断面形の縦断形



写真-11 砂浜の北東端



写真-12 一面コンクリート片で覆われた海岸

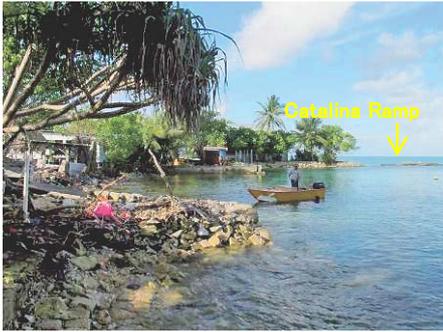


写真-13 北側から望むCatalina Ramp近傍の海岸状況



写真-14 コンクリート片により覆われた学校前の海岸

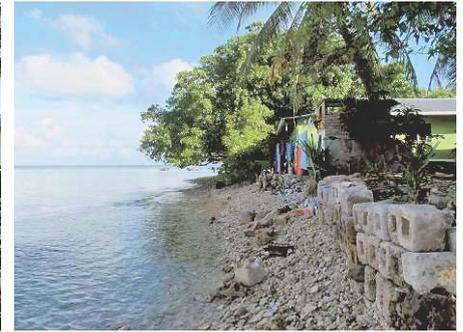


写真-15 家屋前面まで汀線が迫るリーフの溝の背後地



写真-16 区域Bの北端部に残された自然海浜のbeach ridge

の地点12の状況と同じであった。さらに沖合から汀線付近までリーフの掘削が行われた地点15では、家屋の基礎が波に曝され、通常時でも波の作用が著しいと見られた。しかしながら地点15沖にある溝を北側へ回り込むとようやく写真-16に示すようにlagoon側に形成されたbeach ridgeが見られるようになった。Fongafale島西岸で開発が進む前の海岸状況はこのような姿であったと推定され、開発が進むに従いbeach ridgeまで住宅地とされたことが海岸の防護レベルの低下を招いたと推察される。

#### 4. 考察

TuvaluのFongafale島西岸では、満潮時陸地は海面上1m程度となる。Fongafale島西岸はAtollの内側で外洋に面した海岸と較べて作用波高は低い、波高1m程度の風波は発生しうる。この条件では当然越波が著しくなりまた侵食が進む。このようにTuvaluのFongafale島では海岸防護の必要性が高いが、その際天然状態での海岸線が写真-16のように小高い礫バームで防護されていたことを考慮すれば、それを模倣すること有効と考えられる。その場合、礫の調達が課題になるが、サンゴ洲島では高波浪時サンゴ礫の打ち上げがあるので、それを環境影響が出ない範囲で有効利用するのが得策であろう。その

場合、lagoon側のbeach ridgeの高さは外洋側のstorm ridgeの高さと比較して低いことを考慮すれば、礫の調達量をそれほど多くなくても済むと考えられる。今回の踏査結果によれば、とくにCatalina Ramp以北の学校など公共施設のある場所付近も海岸災害に対して脆弱性を有することが分かった。今後この区域の海岸保全もまた重要な課題になると考えられる。

#### 謝 辞

本研究はJICAの「ツバル・沿岸災害対応のための礫養浜パイロットプロジェクト」に筆者が国内支援委員会委員として参画した際、筆者自らが行った現地踏査の結果の一部をとりまとめたものである。このような機会を与えていただいたJICAに対して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 宇多高明、茅根 創、倉田隆喜、泉 正寿、隠木俊人、星上幸良：Tuvalu国Fongafale島北部にあるコーズウェイの現地調査、海洋開発論文集、第26巻、pp.1113～1118、2010。
- 2) Maragos, J. E., Baines, G. B. K. and Beveridge, P. J. : Tropical cyclone Bebe creates a new land formation on Funafuti Atoll, Science, Vol. 181, pp. 1161-1164, 1973.
- 3) 宇多高明、大中 晋、芹沢真澄、泉 正寿、三波俊郎、宮原志帆：Tuvalu Fongafale島西岸における礫養浜計画の検討、土木学会論文集B2 (海岸工学)、Vol.69、2013。(印刷中)

宇多高明



一般財団法人土木研究センター  
常務理事 なぎさ総合研究室  
長、日本大学客員教授理工学部  
海洋建築工学科、工博  
Dr. Takaaki UDA