

サンゴ洲島の保全と利用に関する一考察

A Note on Shore Protection and Beach Utilization on Sand Cays in Maldives

宇多高明* ・桜本 弘** ・折下定夫***

Takaaki Uda, Hiroshi Sakuramoto and Sadao Orishimo

Aerial photographs of coral islands in Maldives were taken to investigate the streak pattern developing on the shallow coral reef surrounding small islands. These streak patterns correspond well with the streamlines of the nearshore currents induced by wave breaking. The direction of the littoral transport was determined from these streak patterns. Beach erosion caused by the effect of the construction of impermeable jetties was investigated and planning method to prevent beach erosion was discussed.

Keywords: Coral reef, Streak pattern, Nearshore currents, Beach erosion.

1. まえがき

熱帯や亜熱帯に発達するリーフは、外洋からの高波浪を消波する上で非常に良好な機能を備えている。このため外洋にある小さな島々でも砂浜（サンゴ洲島）が発達し、ヤシの木などの植物が高密度で繁ることができる。こうした天然のリーフ周辺ではまた海水交換が効果的に行われており、それはサンゴ礁の生育と密接に係わっている。一方、最近ではサンゴ礁の島々が風光明媚なことから、各地で海岸リゾートなどとしての開発が進められつつある。自然環境を十分守りつつ開発を進めるには、自然状態におけるサンゴ礁（リーフ）の特性について十分理解することが必要とされる。筆者らは、モルディブのマレ島の護岸計画の立案に携わってきたが、1992年10月末、北マレ環礁の島々をヘリコプターで調査する機会をもった。ところで、谷本ほか（1988）は、リーフ上には海浜流の流況に対応して顕著な筋目模様が発達することを明らかにしたが、北マレ環礁の島々でも筋目模様の著しい発達が見られることから、これらの特性について空中写真をもとに検討することとした。一方、多くのサンゴ洲島では近年の開発に伴い海岸侵食が顕在化しつつあるが、こうした問題はあまり議論されていない新しい問題である。そこで、サンゴ洲島周辺での海岸侵食について、サンゴ洲島の発達過程とともに述べてみたい。

2. モルディブの北マレ環礁の地理

モルディブは、インド洋上の北緯7°から南緯0°45'の間に点在する約1200個の島からなる。いずれの島でもサンゴ礁が良好に発達しており、それらのうち約200個の島々に人が住みついている（宇多，1988）。首都は北マレ環礁の南端にあるマレ島に位置している。図-1には北マレ環礁と南マレ環礁の島々の位置を示す。マレ島より北側には北マレ環礁に属する島々がくさり状に並んでいる。本研究では北マレ環礁に属する島の中からいくつかの島を実例として選んで検討を進める。

3. リーフ上の筋目模様の発達

まず、写真-1はKanifinolhu島（右側）とHURA島（左側）の間のリーフ面上に発達する筋目模様をリーフの外洋側エッジより撮影したものである。ここに、Kanifinolhu島はMale島の北東約22kmに位置する（図-1参照）。写真-1の筋目模様はリーフエッジよりわずかに内側より始まり、リーフ内へと細長く伸びている。両島の間でリーフの平坦面幅が狭くなっているために、筋目模様は流線であるかのように島の間へと集中している。筋目模様はある間隔で並んでいるが、リーフエッジ付近を詳細に観察すると、リーフエッジの起伏と筋目模様とがかなりよい対応を示すことがわかる。リーフの内側へと伸びた筋目模様は、島の先端と接

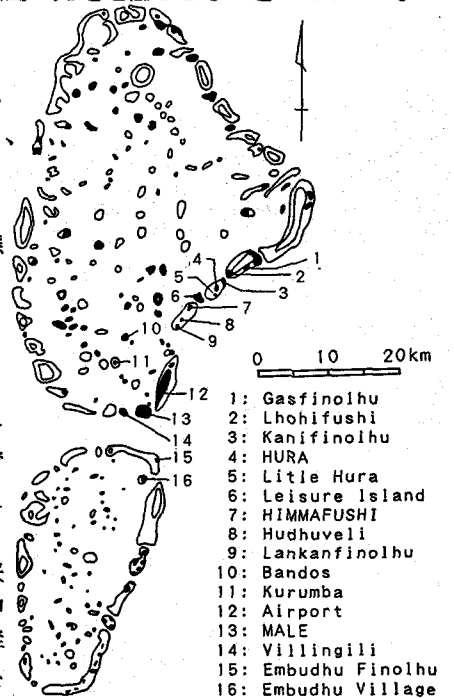


図-1 モルディブの北マレ環礁の島々

* 正会員 工博 建設省土木研究所河川部海岸研究室長（〒305 茨城県つくば市大字旭1）

** 正会員 (株)アイ・エヌ・エー海岸海洋部長

*** 正会員 (株)P C I ウォーターフロント開発事業部

したあと、島の背後には回り込まず、そのままほぼ直線的に伸びている。2つのサンゴ洲島の先端には砂嘴が伸びているが、左側のHURA島の砂嘴は下手側（環礁内方向）へ屈曲しているのに対し、右側のKanifinolhu島では逆に上手側（外洋側）へと屈曲しており、砂嘴の伸長方向が逆転している。また、筋目模様と白っぽい底質からなるリーフの平坦面は、環礁の内側にある礁池の手前で切れている。このことは、外洋からの強い波の作用によってリーフ上へと運ばれたサンゴ塊やサンゴ砂により礁池が埋積されてきたものの、礁池の一部が埋積されずに残されていることを意味している。

写真-1に示したKanifinolhu島とHURA島の間における筋目模様の発達状況を逆方向より撮影したのが写真-2である。リーフエッジより両島間の狭さく部へ向かって筋目模様が湾曲しつつ間隔が狭くなり、狭さく部を過ぎた環礁内側の礁池の手前で明瞭でなくなる点が非常によく分かる。写真-2に示した2つの島のうち、南側に位置するHURA島の北半分を撮影したのが写真-3である。島の東（写真上方）では白いサンゴ砂が広く存在するのに対し、島陰となる西側ではシルト質の底質が広がり、海藻が著しく繁茂している。距離的にはわずかな差であるが、海岸の環境条件には極端な差がある。島の西側は波浪が静穏な点はよいが、水質が悪い点で海浜利用には向かない。

写真-4はHURA島（右側）とその南側に隣接するlittle Hura島を外洋側より撮影したものである。手前の外洋側より環礁内側へと多くの筋目模様の発達が見られる。筋目模様は、リーフエッジ付近にある帯状の区域より伸びており、帯状部分がリーフ内方向に突出した所から黒い筋が伸びている。一方、2つの島の東（手前）側では筋目模様は明瞭ではなくなる。これは島の存在により海浜流の流動が阻害されているためと考えられる。同様に、2つの島の西側では黒っぽい海域が写されており、ここは停滞した状況にあることがわかる。リーフは島の東側と西側で発達しているが、リーフ面は東側が圧倒的に広い。このことは、東側のインド洋側からの入射波の波高が環礁内で発達する風波よりはるかに高いことを示している。



写真-1 Kanifinolhu島とHURA島間に発達する筋目模様（外洋側より西方を望む）



写真-2 Kanifinolhu島とHURA島間に発達する筋目模様（環礁内より東方を望む）

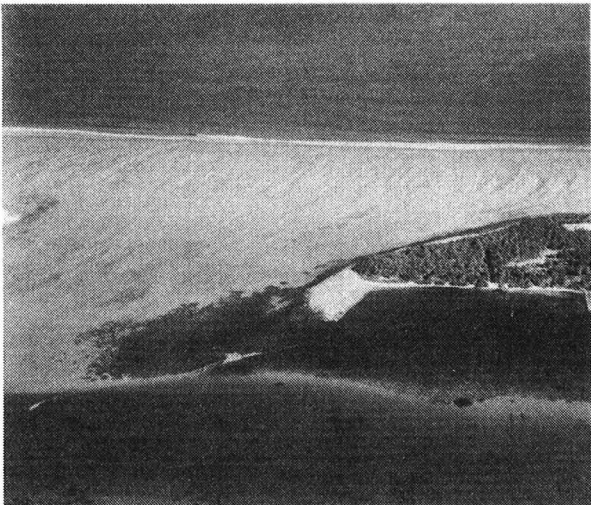


写真-3 HURA島の北端部と島の背後の停滞域



写真-4 HURA島（右側）とlittle Hura島周辺における筋目模様の発達

次に、写真-5にはHURA島の南側のリーフの状況を示す。北（右）端に位置するのが写真-4に示したHURA島とlittle Hura島である。写真はこれらの島々がのるリーフの南側半分の全体像を示す。筋目模様の発達状況は他の写真と同様なので省略し、他の特徴を拾うと、まず南端にある島の西端より細長い砂州がリーフのほぼ全線において横方向に伸びていることに気づく。そして筋目模様はこの砂州付近で終息している。サンゴ砂は波と海浜流の作用によって運ばれるが、リーフ幅が十分広い所では波浪の減衰が非常に大きくなり、そこではサンゴ砂を移動させるための限界掃流力以下となり、このためそこに土砂が堆積したものと考えられる。また、写真右端下部に見える島の背後にもcomet tailのように非常に細長い砂州が伸びていることも特徴として指摘される。

写真-6は中央にLeisure island島を望んで環礁の外側より内側（西側）方向に撮影したものである。この島はMale島の北約18kmに位置する（図-1参照）。Leisure island島の周辺にはリーフの浅瀬があるため、手前側より入射するインド洋からの波は大きく屈折し、細長い島の汀線付近では島の海岸線と波峰線とのなす角が非常に小さくなっている。また、島の背後には細長い砂嘴（comet tail）が伸びている。モルディブの環礁では、この写真に示すようにリーフを切る水道が所々に発達しているが、水道部では外洋からの波が侵入するばかりではなく、潮汐変動に伴って生ずる環礁の内と外の水位差に起因してかなり強い潮流が生ずる。そしてこの潮流は環礁内の海域の海水交換に大きな役割を果たしている。

写真-6に示したLeisure island島を逆方向、すなわち東方を望んで撮影したのが写真-7である。環礁を滑らかに包絡する線に対し、Leisure island島の長軸方向は直角ではなくやや東へ傾いている。このためインド洋からの高波浪は島の北岸へ強く作用する。この結果、島とリーフエッジとの距離は南側が狭く、リーフエッジのごく近傍までサンゴ洲島の発達を見ている。島の西側にも細長くリーフが発達しているが、その上にも細長く砂浜が伸びている。南側の島に注目すると、この島の北端には2本の突堤が伸びているが、突堤の手前（西）側には三角形に広い砂浜が広がるのに対し、島の反射側では広い砂浜は見られない。インド洋からの外洋波が東側すなわち島の上方より来襲することを考えると、写真に示すような砂州の付き方はむしろ逆に思われる。この理由は、この写真を撮影した10月末は、5～10月の間に卓越する南西方向からの風波の作用が最も著しく表われる時期であったことによる。このように環礁内で発達した風波によってもかなり著しい海浜変形が生ずる。

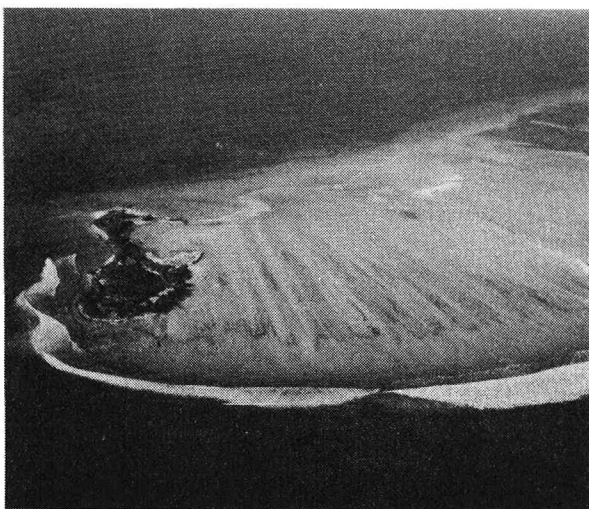


写真-5 HURA島の南側のリーフの状況

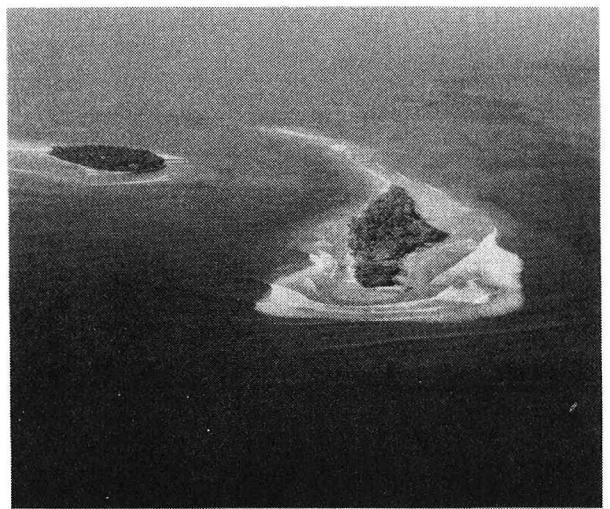


写真-6 外洋(東)側よりLeisure island島を望む



写真-7 環礁内(西)側よりLeisure island島を望む

4. サング洲島における海岸侵食

Male島の西隣りに位置するVillingili島は、約5年ほど前まではリゾートとして使われていたが、首都のあるMale島が人口集中により過密となったため、首都機能の一部をこの島に移す計画が立てられ、現在計画は実施に移されつつある。その計画によれば、現況の汀線より約10mの緩衝帯を設け、それより内陸側を開発区域とするものである。島の全体状況を写真-8に示す。島にはこの開発計画が立てられる以前より上陸用の不透過栈橋の建設や、リーフの一部の埋め立てが進められている。1992年10月末、筆者らはこの島への許可を取って上陸し、島の状況に関する現地調査を行った。写真-9、10はこのとき撮影された現地海岸の状況である。写真-9は写真-8に示す中央の栈橋の北（右）側の埋立地のすぐ北隣の海浜状況を示す。現在の汀線より約10mほど内陸側に浜崖が形成されていることから、ここでは一度浜崖位置まで汀線が後退し、その後再び汀線が前進したことがわかる。この位置のすぐ南側には護岸があって沿岸漂砂の移動が断たれているから、上記の事実はこの地点への波の入射方向が季節的に変動し、北向きの漂砂のとき海浜が侵食され、その後南向きの漂砂が生じた可能性が大きいことが示唆される。この推定が成立するためには、沿岸漂砂が阻止されている場所の反対側の地点の状況を調べる必要がある。写真-10は中央の栈橋の南側の埋立地の南隣りの状況を示したものである。海浜は侵食され、浜崖が形成されるとともに、木が倒壊している。この状況は写真-9に示す埋立地の北側の状況と非常によく対照をなす。すなわち、漂砂を阻止する構造物の北側では現在前浜への堆積が見られ、しかも汀線の前進は構造物近くほど大きいのに対し、構造物の南側では前浜は侵食された状態にあって、浜崖の高さは構造物に近いほど高い。このことは沿岸漂砂により海浜変形が生じたことを明らかに示している。また、北側の海浜で明らかのように、過去には侵食されたが、現在は堆積が生じていることから、沿岸漂砂の方向が変動していることも確かである。波向変動があって沿岸漂砂の方向が逆転する場合、波を遮蔽する構造物の規模が小さい場合には構造物周辺ではサイクリックなモードの海浜変形となるが、波の遮蔽効果が大きい場合にはサイクリックなモードとはならず、条件によっては一方的な侵食傾向となる。Villingili島ではこのような汀線変動が見られ、汀線変動幅が約10mはあることを考慮すると、島の開発計画で考えられている緩衝帯の幅10mは狭過ぎると考えられる。可能であれば余裕幅を広げる工夫が必要であり、それが行われないと最もよい消波効果を持つ砂浜を喪失し、やがてはMale島で問題となっているように高潮対策上の問題が出てくるのが危惧される。

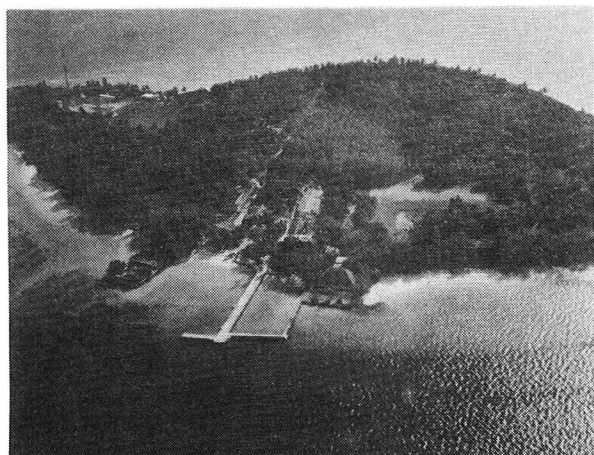


写真-8 Villingili島を東側より望む



写真-9 Villingili島の栈橋北側の海岸状況

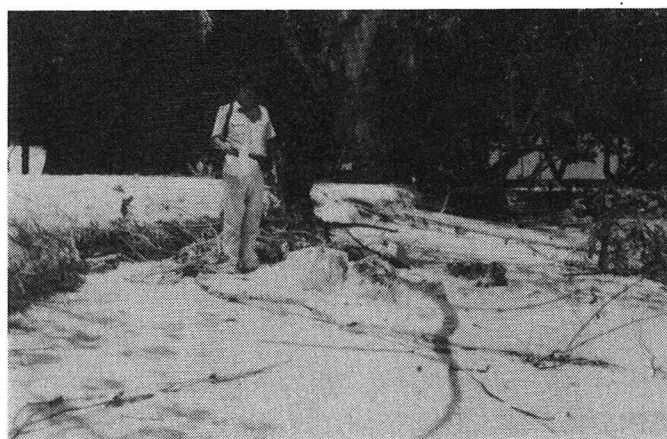


写真-10 Villingili島の栈橋南側の海岸状況

北マレ環礁内にもいくつかのリゾート島が存在する。写真-11はこの種の島の一つのKurumba島の全景である。Kurumba島はMale島の北西約8kmに位置する。この島については1987年にも撮影されている（宇多，1990）ので、その写真を改めて示すと写真-12となる。1987年と1992年を比較すると、1992年にはリーフ上に多数の離岸堤が並んだことに気付く。リーフ上は自然状態でも波は十分低いから、単に静穏化のためにのみ離岸堤が造られたとは考えられない。むしろ中央に見える突堤（栈橋）の建設後、その周辺で沿岸漂砂の不均衡が生じて侵食が起きたためこれらの対策がとられたと推定される。島での宿泊者のためのコテージは島の外周に沿って並んでいるので、突堤近傍より前浜消失対策として離岸堤が伸ばされたと考えられる。この結果、写真-11の左側の5基の離岸堤背後で顕著なように、周辺海浜から大量の土砂が移動して舌状砂州が形成されている。島は工学的意味からは漂砂の閉じた系にあるから、こうして一部の区間で大量の土砂が堆積してしまえば、隣りの海浜が侵食されることになる。長期的展望なしに当面の問題解決のためにのみ海岸施設を造ると、島の環境条件は大きく低下し、島周辺の砂浜も構造物で囲まれた状況を呈してしまうであろう。こうなれば良好な環境を求めて現在島を訪れている多くの人々もやがてはこの島への関心を失うことになる危険性が高い。このことは、長期的視野に立った計画立案の必要性を示している。

5. サンゴ洲島の発達

リーフの中には種々の形態がある。写真-13はサンゴ礁が発達しているが、サンゴ洲島は形成されていないものである。多くの場合、このようなリーフでは中央部に礁池が残されているが、この場合は周囲にサンゴ塊からなるリーフェッジが発達し、その内側には細粒のサンゴ砂が堆積している。

1987年4月、モルディブに来襲した高潮ではリーフ上に波の作用で新たに洲島（Udahfushi島）が形成されたことについては既に報告した（宇多，1988）。この島が形成されてから約5年半の経過した状況を写真-14に示す。サンゴ砂礫からなる島はその後の波の作用はあるものの、ほぼ安定して存在し続けていることが分かる。

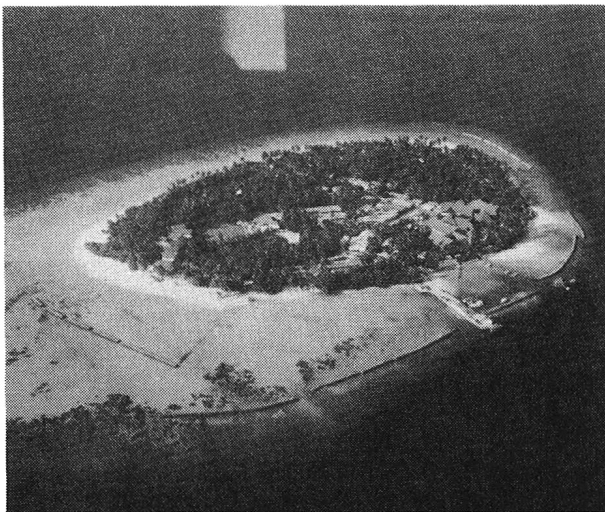


写真-11 Kurumba島を南東側より望む（1992年10月）



写真-12 Kurumba島を北東側より望む（1987年8月）

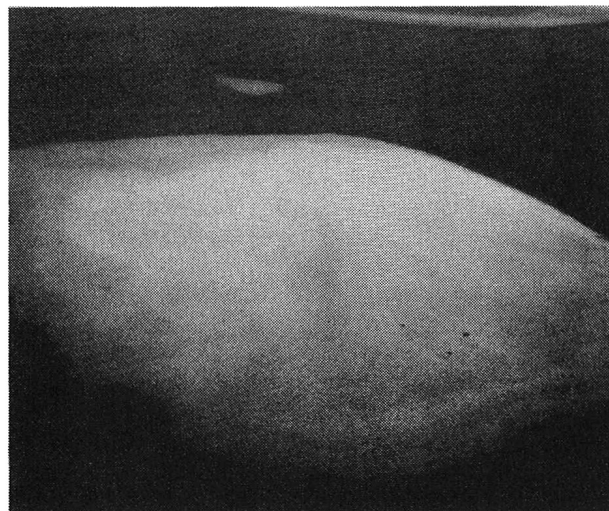


写真-13 発達中のサンゴ礁の一例



写真-14 Udahfushi島における海浜の発達

6. 結論

本研究の主要な要点は次のようである。

- ①リーフ上では海浜流の流動に合わせてリーフエッジより岸向きに筋目模様が発達することが過去の研究により明らかにされているが、モルディブの北マレ環礁のサンゴ洲島の周辺でもリーフの外洋側より環礁内へ向いた顕著な筋目模様が見い出され、リーフ上では海浜流による活発な海水流動があることがわかった。
- ②モルディブのサンゴ洲島ではリゾートとして利用するため不透過棧橋が造られ、それにより島の漂砂の系にかなり大きな影響が及び、施設の周辺で侵食が進みつつある状況が明らかになった。また、Kurumba島のように離岸堤が造られた結果、本来バランスしていた漂砂の系が乱され、砂浜が局所的に削られる場所が出てきていることが指摘される。サンゴ洲島では、島の一部の改変の影響が全体に及びうることに注意が必要である。計画に携わる関係者の注意を喚起しておきたい。

参考文献

- 1) 谷本修志・中野泰雄・大月義和・宇多高明・小俣 篤 (1988) : 沖縄県仲泊地区のリーフ周辺での波と流れの観測, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 207-211.
- 2) 宇多高明 (1988) : モルディブにおける高潮災害, 海岸, Vol. 28, pp. 41-50.
- 3) 宇多高明 (1990) : サンゴ礁海岸でのウォーターフロント利用と海岸保全, 海洋開発論文集, Vol. 6, pp. 13-18.