

サンゴ州島の形成・存続条件としての台風とビーチロック

Roles of Typhoons and Beach Rocks in the Formation and the Deformation of Sand Cays

野口賢二¹・青木健次²・板橋直樹³・五味久昭⁴・佐藤慎司⁵・渡邊国広⁶・茅根 創⁷

Kenji NOGUCHI, Kenji AOKI, Naoki ITABASHI, Hisaaki GOMI
Shinji SATO, Kunihiro WATANABE and Hajime KAYANE

The morphology of sand cays developed in Miyako Island and Kumejima Island, Okinawa Prefecture, Japan, was investigated. The variation of submerged sand area, potential zone for sand cay formation, was found to be well correlated with a typhoon index, proposed to quantify the influence of typhoon on sand cay morphology. The analysis of sediments sampled around sand cays indicated the importance of the presence of beach rocks in the formation of the sand cay.

1. はじめに

国際海洋法条約や海洋基本法に関わる動きが政府や経済界で活発化している。これらは活活用の推進であるが、それにともないサンゴ礁の評価が重要となる。サンゴ礁は全体システムとして存続しているの、その一部であるサンゴ礁の砂州を形成・維持する仕組みと効果が把握されている必要がある。これを認識せずに開発行為を行うと、回復不能なダメージをサンゴ礁に与えかねない。

一方、海水温上昇による白化現象や海水準上昇にサンゴの成長の追従性等が議論となる。しかし、白化現象によるサンゴや有孔虫の死滅や海水準上昇や気候場の変化がもたらすサンゴ礁全体の影響については、議論されていないのが実情と言える。

サンゴ礁の砂州や砂浜に関する研究(例えば、宇多ら、1992)はいくつか存在するものの、サンゴ礁内における生物過程と合わせた物質サイクルとして扱われたことはなかった。サンゴ砂州は、サンゴ虫の殻であったサンゴ砂礫や生物そのものが砂となる有孔虫が構成材料となっている。サンゴ砂州で構成された島やサンゴ砂州で守られた島の管理を進めるためには不可欠な課題である。また、サンゴ礁海岸に特有なビーチロックの存在が砂州の存続に寄与していると見られる例が多い。ビーチロックとは、「周囲の浜の堆積物と同じサンゴの破片などが・(中略)・岩石状の炭酸カルシウムで膠結された固結海浜堆積物」(田中、1990)である。

本研究では、外力が直接リーフに及ぼしつつも維持されているサンゴ砂州および突発的に生じたと言われる砂州について現地調査を行いそれらの形成原因について考察した。調査対象とした砂州は、数年で生じたと言われる沖縄県宮古島市北部世渡崎(池間大橋南詰め)東側の干出する砂州、砂州が本島と独立して存在し直接波浪に曝されつつも長期間にわたり陸化する沖縄県島尻郡久米島町ハテナハマについて現地調査と空中写真による解析を試みた。サンゴ礁の砂州としては石垣島や沖縄本島周辺にも点在するが外洋からの波を直接受ける条件にあるとしてこの2カ所を選んだ。

2. 宮古島池間大橋で出現した砂州

(1) 現地調査と聞き取り情報

池間大橋は、宮古島北端の世渡崎と池間島の間に架かる。世渡崎の沖に発生した砂州は、宮古毎日新聞(2008)に二つの砂州で長さ幅ともに数十mと紹介されたものである。同様な海岸線に対して沖に伸びる砂州について、片野ら(2007)及び津田ら(2008)が沖縄市泡瀬地先を

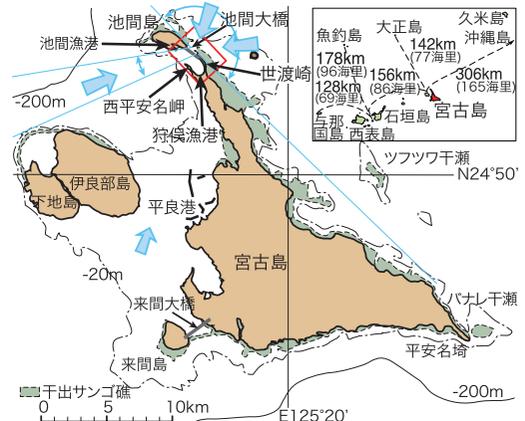


図-1 調査対象地点の位置関係

- | | |
|--------|-------------------------------|
| 1 正会員 | 国土技術政策総合研究所 海岸研究室
主任研究官 |
| 2 | 東京大学大学院 理学系研究科 |
| 3 正会員 | 博(工) パシフィックコンサルタンツ(株) |
| 4 | 三洋テクノマリン(株) |
| 5 フェロー | 工博 東京大学大学院 工学系研究科 教授 |
| 6 正会員 | 博(農) 国土技術政策総合研究所 海岸研究室
研究官 |
| 7 | 理博 東京大学大学院 理学系研究科 教授 |



図-2 世渡崎調査位置と調査結果

対象として解析している。泡瀬地先が南方に対してのみ沖側が開いているのに対して、世渡崎は図-1に示すように東側と西側の両面から影響を受ける地形となっている。

調査砂州の中心は、北緯24.9164度、東経125.2664度の地点である。調査を行った2010年1月26日は北の季節風が強く、25日14時以降に北から北北東の風向きで、25日16時以降は風速が時間平均6~8m/s（瞬間最大は26日1時0分に13.7m/s）で、26日14時までの10分平均風速は6m/s以上であった。朝の9時3分の干潮を目指し8時30分に出航した。冬季風浪による波（北東から）と下げ潮（西から東）による流れが生じていた。これにより砂州

の斜面には流れによる砂漣が、上面には波による砂漣が確認された（図-2）。採取した底質はサンゴ砂のみで構成されていた。宮古島と池間島の水路にあたるために速い潮流が生じる。世渡崎の干出砂州の発生箇所は岬のこの死水域に発生している。よって、流れと波の双方が作用し堆砂地形が形成されると考えられる。

調査船として用いた漁船の船長によると「池間大橋が完成した後から大規模な堆砂が生じ年々拡大している。このためモズクの養殖網が埋まってしまうため栽培箇所を移動している。」とのことであった。また、砂州の存在について、狩俣漁港側に付いたことは無いかとの問いに対して、「記憶に無い、橋の完成以降こちら側（世渡崎の東）にどんどんと溜まったと言う印象が強い。」との答えている。しかし、図-3の1963年米軍写真の世渡崎東側や以降の砂州ランクの着色部分の分布より堆砂環境が近年になって生じたのではないと分かる。さらに、モズクの養殖が実現したのは1977年（沖縄県HP）で宮古島に普及したのはそれ以降となる。また、世渡岬には人家がなく、モズクの養殖が実現する1977年以前は砂洲変化を意識する機会が低かった可能性がある。

(2) 池間大橋東側の堆砂域の変化と台風経路

干出するまで堆砂するには周辺に潤沢な砂の存在が必要である。暦年の航空写真から堆砂域の状況の変化を調べた。1963年（米軍）、1972年（国土地理院）、1977年（国土地理院）、1986年（国土地理院）、1996年（海上保安庁）、1999年（国土地理院）、2007年（GoogleEarth）の

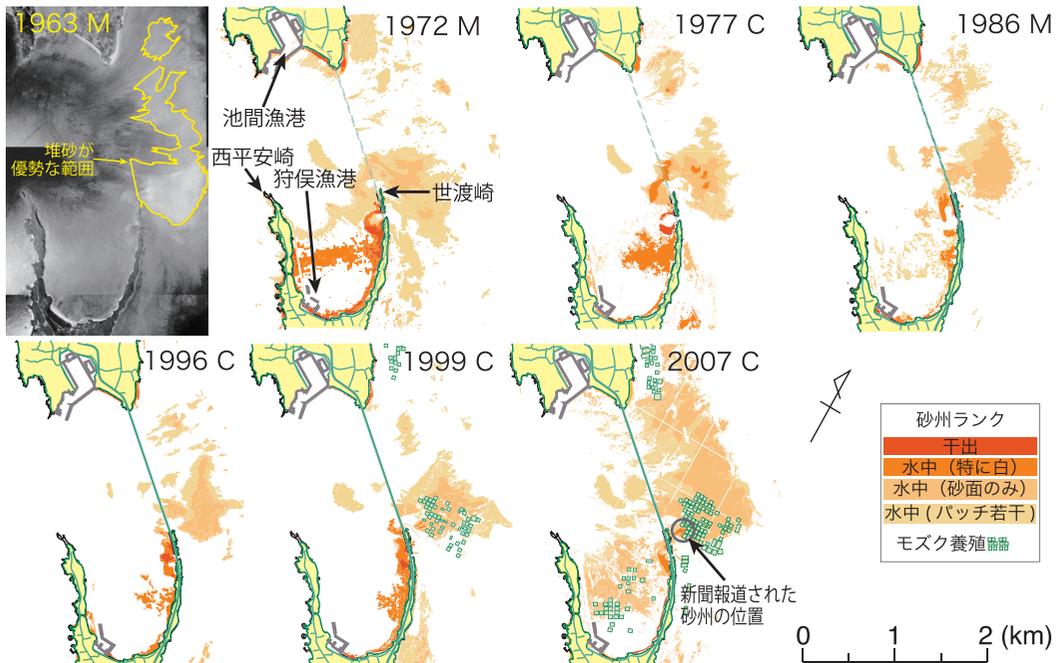


図-3 堆砂が優勢である範囲の変化

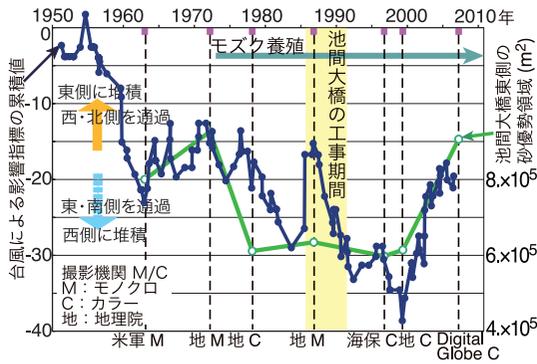


図-4 台風の影響指標と優勢堆砂面積の経年変化

画像から砂州が有意義に存在している領域を抽出した。本論文では、砂の堆積が優勢な範囲として抽出した領域を示している。サンゴ礁内に孤立して存在するサンゴパッチ (ノルとも言う) を砂が埋め尽くしているかを画像処理 (平均化と減色, 自動輪郭把握) により判読した。砂州ランクの分類は, 画像上で海底が白く単調な色調である場合は, 輝度が高いものを「水中 (特に白)」その他を「水中 (砂面のみ)」とし, 色調の緑が濃い場合にはサンゴパッチが平均化して取り込まれているとして「水中 (パッチ若干)」, 「水中 (特に白)」より黄色がかっている部分 (砂浜と同様な色となっている) を「干出」として領域を分けた。抽出範囲の変化を図-3に示す。世渡崎と西平安名崎の間の領域は浅いとともパッチが多く判読は不正確となっている。池間大橋から西側に向かい水深が増すために色調の意味が異なるため示していない。1963年の写真は画質が低いため, 手作業で範囲を抽出した。

砂州の堆砂と台風の関係の数値化して調べるために, 池間大橋から東側の優勢な砂州の面積を算定した。架橋前の年代でも同様に橋が架かる直線で区分した。台風の経路や規模と堆砂域がパッチに対して優位になっている面積を比較する。

宮古島を中心に半径100km以内を通過した台風に対して, 台風データベース (野口ら, 2006) で整理した中心気圧 P_c , 中心から1000hPaまでの距離 ($R1000$) を用いて藤田の式より強風半径 $R0$ を求めた。最大風速は Atkinson and Hollida による経験式 (筒井, 2006) で算出した。この式は, $V_s = 6.7 \times (1010 - P_c)^{0.644}$ として, V_s は最大風速 (knot), P_c は中心気圧で表される。

台風影響の指標 (Tii) は,

$$Tii = \frac{R0 \times Vs}{Ut \times R1000} \dots\dots\dots (1)$$

とした。ここで, Ut は台風の移動速度である。

さらに, 台風を宮古島に対して東西南北のどの方向を通過したかで分類した。東側および南側を通過する台風は台風の進行方向の先頭付近から右前, 西側および北側を通過する台風は左後ろから後尾で生じる風が影響を与えるとした。東側と南側を通過する台風は池間大橋付近の底質を西へ動かすとして $(-1) \times Tii$ とし, 西側と北側を通過する台風は底質を東へ動かすとして $1 \times Tii$ とした。地形変化は, 影響の積算量として現れるとして通過台風の累積値で変化を表現することとした。

この結果を図-4に示す。大雑把な解析手法であるが, 砂州の移動と台風の来襲が関係していることが分かる。さらに, これはこの付近の砂州が頻繁に移動変形していることを示している。池間大橋周辺の堆砂は台風の通過によって砂が移動しており, これが一定化すると部分的に極端な堆砂が生じ干出砂州となる。

3. 久米島南東部ハテナハマのビーチロックと有孔虫

ハテナハマは, 図-5に示すように久米島南東に付随するオーハ島沖から東に伸びており, 前浜, 高浜, 中浜, 果浜と呼ばれる砂州で形成され延長8kmとなる日本最大の巨大砂州群である。ハテナハマに関しては, 長谷川 (1990) で詳しく示されていることから名称等はこれに倣う。ハテナハマは, 陸上起源の漂砂系から完全に独立しつつ巨大な砂州が維持され続けている。

ハテナハマでは, 2回現地調査を行った。1回目は2010年1月27日で砂の堆積状況と北側礁池内ターファルジー (芝草状海草) 群落における有孔虫の確認, 2回目は2010年3月4日でビーチロックの存在状況と小片の採取, 礁嶺外縁部での有孔虫の確認を行った。

第1回目の調査では図-6の採取地点Aにおいて写真-1のようにゼニイシ (*Marginopora*) が確認できた。さらに第2回の調査では地点Bにおいてタイヨウノスナ (*Baculogypsina*) とホシズナ (*Baculogypsina*) が加わる3種類の有孔虫の生息が確認できた (写真-2)。

地点Aにホシズナが見られ無いにもかかわらず砂州に

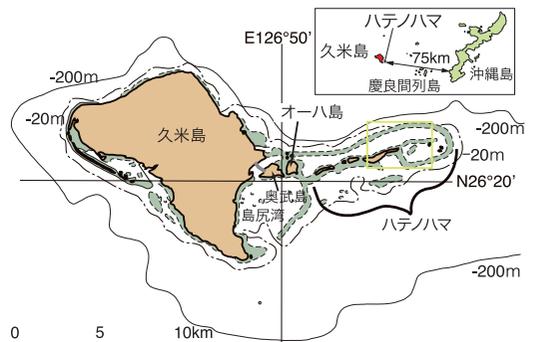


図-5 久米島とハテナハマの位置関係

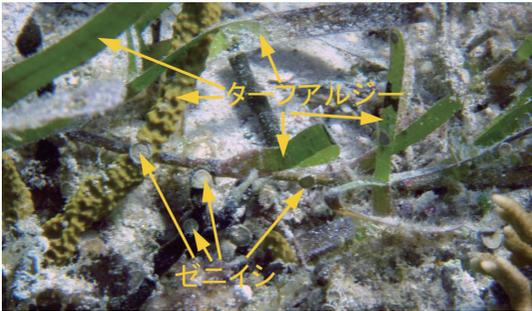


写真-1 礁嶺礁池側で確認したゼニイシとターフアルジー

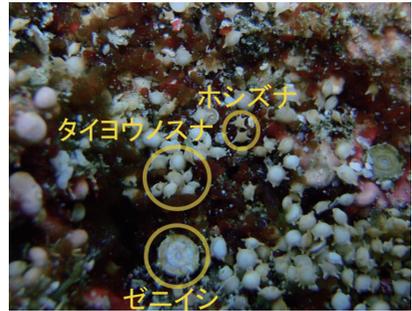


写真-2 礁嶺礁斜面側で確認した有孔虫

はホズナが存在するので、生息場である礁嶺と砂州をつなぐ系が存在する必要がある。ハテノハマの礁内の海底地形が取得されていないことから、谷本ら（1989）の手法によって礁内の波・流れを予測する。図-6の空中写真は国土地理院により1月に撮影されたものであることから冬季間の効果で生じる痕跡を見ることができる。果浜の東側に見えるデューンの列は、砂州から東への流れまたは波により形成されたと判断できる。このような波・流れは冬季風浪時に高潮位程度の高さを有する北側の礁嶺を越えた際に生じる。また、同季節には中浜の西側に見られる北側からのウォッシュアウトの痕跡も見られる。さらに、東南部の礁嶺から果浜に向かいパッチが列状に並ぶ。これは夏季の南からの台風による強い波・流れの痕跡として現れている。有孔虫が砂州へ北からの冬季風浪により徐々に南側へ供給され、また東端からも夏季の台風により供給される。そして、堆積した有孔虫砂・サンゴ砂礫がビーチロック化するメカニズムが存在すると考えられる。

砂州で採取した砂から棘が未だ摩耗を受けずに残っているホズナ個体の割合（残棘率）を調べた。残棘率による供給源の予測は、秋山（1979）が考案しYamanouchi（1998）も用いている。図-7に試料の取得地点とともに残棘率を示した。残棘率は、サンプル中のホズナの図-7左上に例示した「棘有り」の割合により示される。砂州



写真-3 津波によるウォッシュアウトの前後

北側で東ほど大きな値となっている。これは、採取地点Aではホズナは見られないことと夏場の強い波が東側を回り込んでくることも合わせて、東側が漂砂の上手であると説明できる。

チリ中部地震津波（2010年2月27日発生、沖縄到達28日16時40分頃）により、1ヶ月前に岩礁部は藻で覆われ

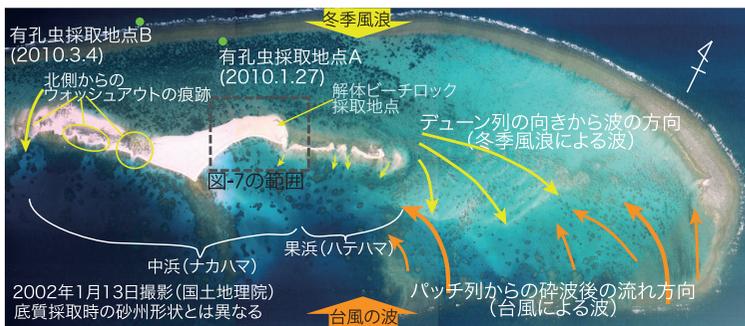


図-6 ハテノハマ空中写真の判読による波・流れの模式図

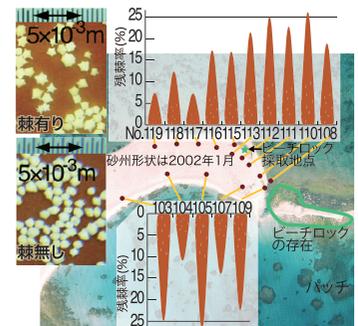


図-7 残棘率計測の結果



写真-4 採取したビーチロック

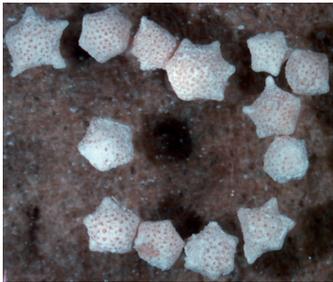


写真-5 ビーチロックからブラシでほぐし出した残棘ランクの高いホシズナ

ていたビーチロック表面が露出した(写真-3)。藻は、ビーチロック形成過程で二酸化炭素を供給すると考えられている。この場所のビーチロックは、砂州の基盤となる琉球石灰岩上に形成され、砂州に覆われた状態で存在している。

また、残棘率が高いNo.112付近で採取したビーチロックの欠片(写真-4)をブラシでほぐし解体したところ、写真-5に示すように多くの残棘率が高いホシズナが得られた。つまり、砂州に到着した後、摩耗をあまり受けないうちにビーチロックに取り込まれたことになる。同じ欠片からさらに破片にして小瓶に入れ水中で攪拌して解体しようとしたものを1ヶ月放置した(図-8)。当初は攪拌すると濁っていた成分が、底面で結合し膜状となり軽く攪拌しても濁らなくなった。

ハテナハマの変形は、ある範囲内で概形が大きく異なることなく存在している。ハテナハマは琉球石灰岩の盤面が低潮位付近かそれより高く存在している。これにより砂州が定常的に維持され、効率的にビーチロックが形成される。ビーチロックが形成されると盤面が上がり、さらに堆積環境を形成するという好循環になる。ただし、効率的なビーチロックの形成には有孔虫が重要な役割を果たしていると考えられる。

4. まとめ

本研究は次のようにまとめられる。

- 1) 世渡崎東側の堆砂域は、台風の影響によって堆積状態が変化している。この変化を台風の強度と経路による



図-8 小瓶内に放置したビーチロック破片のくずから形成された膜状結合物

- 指標で示したところ、堆積状況の変化と良く合った。
- 2) 破砕片を調べた結果、堆積側で採取したのものの中には残棘率の高いホシズナが確認された。
- 3) ビーチロックの形成を持続するには礁嶺部と礁斜面の保護が必要である。
- 4) 礁嶺から礁池まで一体の総合的保全が必要である。

参考文献

- 秋山吉則(1979):漂砂の指標としての『星砂』の碎屑過程－与論島北東部現成サンゴ礁を例として－, 地理科学, Vol.31, pp.33-39.
- 宇多高明, 伊藤弘之, 小菅 晋, 山崎順一(1992):サンゴ洲島の形成・消失機構に関する研究, 海岸工学論文集, 第39巻, pp.376-380.
- 沖縄県水産課:モズクの紹介, <http://www.pref.okinawa.jp/suisan/mozuku.html>, 参照2010-02-15.
- 片野明良, 三宅光一, 池原興栄, 與那覇健次, 吉川貴志(2007):海岸線に対して直角に形成された砂州の形成過程と維持機構について, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.466-470.
- 田中好國(1990):9.石になった砂浜 ビーチロック, 日本のサンゴ礁地域1, 熱い自然, サンゴ礁の環境誌, 古今書院, pp.137-151.
- 谷本修志, 宇多高明, 高木利光(1989):リーフの筋目模様から予見された流れの数値計算による検証, 海岸工学論文集, 第36巻, pp.229-233.
- 津田修一・與那覇健次・國場幸恒・海老原俊広・片野明良・小野信幸・久留島暢之(2008):サンゴ礁池に形成された砂州の成長メカニズム, 海岸工学論文集, 第55巻, pp.466-470.
- 筒井純一(2008):海水温の上昇と台風強化の可能性, 水工学夏期研修, 08-B-2, 18p.
- 宮古毎日新聞(2008):池間大橋近く/砂州が2つ出現/狩俣漁師, 航路ふさがれ困惑, 2008-02-13, <http://www.miyakomainichi.co.jp/modules/bulletin/article.php?storyid=1927>, 参照2010-01-06.
- 長谷川均(1990):琉球列島久米島, ハテナハマ洲島でみられる海岸線変化, 地理学評論, Vol.63-A, No.10, pp.676-692.
- Yamanouchi, H.(1998):Sandy Sediment Distribution on Coral Reefs and Beaches at Several Islands of the Ryukyu Island Arc, Gorgographical Review of Japan, Vol. 71(Ser. B), No.1, pp.72-82.