

サンゴ礁海岸における自然海浜と養浜海浜の 底質特性

CHARACTERISTICS OF CARBONATE BEACH MATERIALS IN OKINOERABU ISLAND
AND SOUTHERN PART OF OKINAWA MAIN ISLAND

西 隆一郎¹・池増隆弘²・日高正康³・マリオ デ レオン⁴
Ryuichiro Nishi, Takahiro Ikemasu, Masayasu Hidaka, Mario de Leon

¹正会員 博(工) 鹿児島大学准教授 水産学部水産学科 (〒890-0056 鹿児島市下荒田4丁目50-20)

²正会員 工学修士 鹿児島市役所 (〒892-8677 鹿児島市山下町11番1号)

³鹿児島大学講師 水産学部水産学科 (〒890-0056 鹿児島市下荒田4丁目50-20)

⁴正会員 博(工) San Carlos大学講師 工学部土木工学科 (P. des Rosario Street6000, Cebu City, Philippines)

Carbonate beaches has functions as shore protection and recreation zone to attract many tourists, thus the beaches should be properly sustained. This paper mainly deals with the character of carbonate beach material such as grain size and distribution of carbonate natural beach material and nourished beach material in Okinawa and Okinoerabu islands, because the origin and source of beach sediment should be identified to protect a carbonate beach. The study shows that most of beach material is originated inside and around a coral reef, thus a coral reef system should be preserved to supply the sediment on the beach.

Key Words : Classification of sediment, carbonate beach, grain size, source of sediment.

1. まえがき

我が国においては、東京都、鹿児島県、および沖縄県に広がる小笠原諸島、薩南諸島、そして琉球諸島にサンゴ礁海岸およびサンゴ礁性海浜が広がっている。低海拔の島々にとっては、低気圧に伴う暴浪から島を守る事が、国土保全上も極めて重要な事であり、写真-1に示すようなサンゴ礁はその役割を十分に担うものである。また、サンゴ礁内には写真-2に示すように、炭酸カルシウム性の底質材料からなる自然海浜が形成され、底棲生物の棲家や、レクリエーションの場として活用されている。また、サンゴ礁海域は生物生産性が高いにもかかわらず水質がよいのは、海浜内部において満潮と干潮に伴う海水浄化機能が発揮されることも考えられ、そのために、海浜底質の透水特性に関する研究がマリオら¹⁾によりなされてもいる。

一般にサンゴ礁がみられない海岸の底質は、大きな河川の河口付近を中心に、その流域から運搬されてきた砕屑物が海へと供給され、沿岸の流れと波による底質移動(沿岸漂砂と岸沖漂砂)で沿岸域に堆積してつくられる。

しかし、一般にサンゴ礁性海岸には大きな河川が流入せず陸域からの底質供給が期待できないために、海域の土砂収支を検討する場合に、別の底質供給機構を考慮しなければならない。

加えて、我が国の亜熱帯海域に広がるサンゴ礁性海浜の多くは、リゾート開発や港湾計画のための埋立て、ならびに海岸保全構造物設置等の人為的な圧力にさらされている。また、サンゴ礁性海浜の構成材量は生物起源のものがほとんどであると推測されるために、今後予想される地球温暖化と海面上昇に対しても、本土の砂浜よりもより脆弱であると考えられる。その理由としては、サンゴ起源の海浜は、構成材料が生物性起源であるために、河川や海食崖から土砂が供給される本土の砂質海浜に比べて底質供給量が少ないこと、また主要な底質供給源である有孔虫などは、水温や海流などの環境変動を受けやすいことが挙げられる。そこで、サンゴ礁性海浜の持続可能性を把握するために、まずは、1) 構成材量の特性および供給源の推定が必要であると考えられること、また、2) 経済面からマリーンレジャー推進のために養浜を行う場合の材料適合性を検討する必要もあることなど

から、サンゴ礁性海浜の底質材料特性をできるだけ多くの自然海浜と養浜海浜でサンプリングし、多様な底質特性を明らかにすることが必要であると考えた。また、底質特性以外に、海浜幅、リーフ長などの海岸成状、および海浜の開口方向などの指標も加えてサンゴ礁海浜地の粒径特性について考察を行うことにした。リーフ長については、海上保安庁刊行の1/50,000海底断面図²⁾より読み取った。さらに、サンゴ礁性海浜の養浜の代替材として、今後はガラス材などを用いることも考えられるので、自然海浜に漂着しているガラス材の採集を行い、研究室にこのサンプルを持ち帰り、ガラス材の色別重量分布、色別個数分布についても調査した。

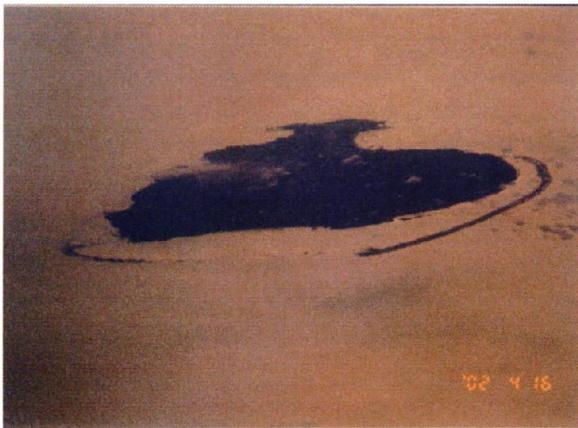


写真-1 干潮時に撮影された鹿児島県与論島を取り囲むサンゴ礁（リーフエッジ）の様子



写真-2 サンゴ礁内で炭酸カルシウム性材料により形成された白い砂浜

2. 現地調査

環境庁によるサンゴ礁分布図（1996）に基づけば、鹿児島県では十島村の宝島以南にサンゴ礁が形成されている。そこで、サンゴ礁性海浜地での底質調査と海浜特性調査は、まずは、隆起サンゴ礁の島である鹿児島県沖永良部島の空港前浜（くうこうまえはま）、美瀬浜（びしはま）、沖泊海岸（おきどまりかいがん）、内喜名海岸（うちきなかいがん）、湾門浜（わんじよはま）の各海

岸で行った。次いで、沖縄本島中南部でトロピカル・東、トロピカル・西、瀬長（せなが）、北名城（きたなしろ）、名城（なしろ）、米須（こめす）、米須貝塚（こめすかいづか）、新原（みーばる）、アージ島、安座間・東（あざま）、安座間・西（あざま）、佐敷（さしき）、久場（くば）、泡瀬（あわせ）の各海岸で調査を行った。なお、沖永良部島の全周は約50kmで、島は隆起サンゴ礁で形成され、東西に細長く島の南側は台風の高波浪が外洋から直接作用するために、広い砂浜がほとんど見られない。そこで、現地調査および底質サンプリングを行ったのは島の北側から南東の海岸に集中している。

現地調査した鹿児島県沖永良部島の海岸と沖縄本島中南部地域海岸の海浜幅、リーフ長などの海岸成状、および海浜の開口方向などの指標特性は、表-1に示される。

表-1 沖永良部島 沖縄本島の海岸成状

| 番号 | 海岸名 | 中央粒径 (mm) | 淘汰 係数 | 開口 方向 | リーフ幅(m) | | 海岸線 (m) |
|----|-------|--------------|----------|----------|---------|------|------------|
| | | | | | 平均 | 最長 | |
| ① | 沖泊 | 0.679 | 1.562 | 北 | 132 | 145 | 500 |
| ② | 内喜名 | 0.722 | 1.685 | 北 | 102 | 112 | 405 |
| ③ | 湾門浜 | 0.530 | 1.490 | 北 | 246 | 286 | 500 |
| ④ | 空港前 | 0.703 | 1.497 | 東 | 134 | 177 | 170 |
| ⑤ | 美瀬 | 0.612 | 1.518 | 南東 | 204 | 241 | 330 |
| ① | トロピカル | 0.595 | 1.573 | 西 | | | |
| ② | 瀬長 | 0.654 | 1.573 | 北西 | 3257 | 3257 | 210 |
| | 瀬長 植 | 0.408 | 1.571 | | | | |
| ③ | 北名城 | 0.588 | 1.398 | 西北 西 | 583 | 795 | 1270 |
| | 北名 植 | 0.349 | 1.433 | | | | |
| ④ | 名城 | 0.579 | 1.627 | 西 | 972 | 1295 | 3400 |
| | 名城 植 | 0.408 | 1.519 | | | | |
| ⑤ | 米須 | 0.590 | 1.747 | 南南 東 | 306 | 476 | 1740 |
| | 米須 植 | 0.723 | 1.544 | | | | |
| ⑥ | 米須貝塚 | 1.255 | 1.867 | 南南 東 | | | |
| | 米貝 植 | 0.502 | 1.912 | | | | |
| ⑦ | 新原 | 0.874 | 1.760 | 南東 | 988 | 1250 | 3030 |
| ⑧ | アージ | 0.274 | 1.436 | 南東 | 2250 | 2300 | 650 |
| ⑨ | 安座真 | 0.529 | 1.420 | 北東 | | | |
| ⑩ | 久場 | 0.292 | 1.457 | 南東 | 732 | 1209 | 1350 |
| ⑪ | 泡瀬 | 0.334 | 1.645 | 南 | 1308 | 1627 | 840 |
| | 泡瀬 植 | 0.463 | 1.680 | | | | |

なお、汀線近傍での底質サンプリングに加えて、植生がある海岸では飛砂が堆積したと思われる植生域での底質サンプリングも行った。サンプリングした底質は鹿児島大学に持ち帰り、ふるい分け試験を行った。さらに、沖永良部島の4海岸においてはピンセットで一粒ずつ底質を選び分けて、目視で組成の分類を行った。

3. データ解析

(1) 粒度組成

サンゴ礁の白い砂浜の構成物質が何であるかを知るこ

とは、底質の供給源を知ることにつながる。そこで約10,000粒を対象に底質一粒毎の組成判断を行った。肉眼で判断できる粒径0.85mmのふるいに残った底質つまり0.85mm以上2mm以下の底質を対象とした。採取し粒度分析を行った23サンプルのうち、内喜名海岸と空港前浜の満潮時汀線を組成均等になるように約1/32に等分割した。その結果これらの砂は写真-3に示すように、大きく分けて、(a)サンゴ破片、(b)貝殻破片、(c)白っぽい岩石、黒っぽい岩石、有孔虫である(d) *Baculogypsina*、(e) *Calcarina*、(f) ウニの棘などを含むその他のものといった6つに分類することができた。それぞれの特徴、判断理由等については以下に示す。



写真-3 サンゴ礁性海浜の代表的な構成材料

a) サンゴ破片

サンゴは枝状、塊状、盤状など様々な形状をしている。また、宝石サンゴと石サンゴがあり宝石サンゴは色もカラフルで様々な形をしている。石サンゴは白っぽいものが多く、まさに炭酸カルシウムから出来たという感じのものである。サンゴ破片は、これらのサンゴの骨格が壊れ細粒化したもので、光沢のない白、または乳白色のものが多い。よく見ると細かな孔が認められる。これらは現生のサンゴから生じたものが多いと思われるが、現在の礁原の大部分を構成している岩礁化した古いサンゴに由来したものも混在している可能性が大きい。しかし、両者を区別することは難しい。

b) 貝殻破片

貝殻の破片は、もとの貝の種類によっても異なるが二枚貝の場合には湾曲した表面の一部が残っていたり、厚みの薄いことが判断の手がかりとなる場合もある。細かな孔がなく、光沢があるものが多い。このことが、サンゴ破片との判断理由となることが多い。また、完全な貝殻の形をした微小貝なども見受けられる。

c) 岩石破片

岩石の破片は大まかに分けて、白っぽいものと黒っぽいものによる判断を行った。白っぽい岩石は、サンゴ破片との区別が難しかったが、細孔の有無と壊れやすさつまり、つぶれ易いか強固であるかでも判断した。また、

それ以上の分類も試みたが鉱物性の物質は判断が難しく、堆積岩層か火成岩のどちらかではないかと思案するのが目視による限界であった。

d) 有孔虫殻

有孔虫とは海中に生息する単細胞動物である。浮遊性生物と底生生物とに分かれ、大型型のもは十センチのものから小型のものは数ミクロンのものまで種類は様々であるが、サンゴ礁海浜で見られるものには *Baculogypsina*、*Calcalina*、*Amphistegina*、*Elphidium* などがいるが、特に、*Baculogypsina*、*Calcarina*の生息率が高い。この2種類の有孔虫は共に底生生物であり、リーフ・フラットからラグーン(礁池)にかけて海藻や礁岩に付着して生息している。*Baculogypsina*は突起を持っており幸運を呼ぶ星砂として知られており、*Calcarina*は形が太陽のようなので太陽砂とも呼ばれている。これらの有孔虫が死んだ後、波や流れにもまれ、磨耗しながら海岸に打ち上げられたものである。

e) ウニの棘・その他

判別不能なものとうニの棘などである。

f) 鉱物性材料

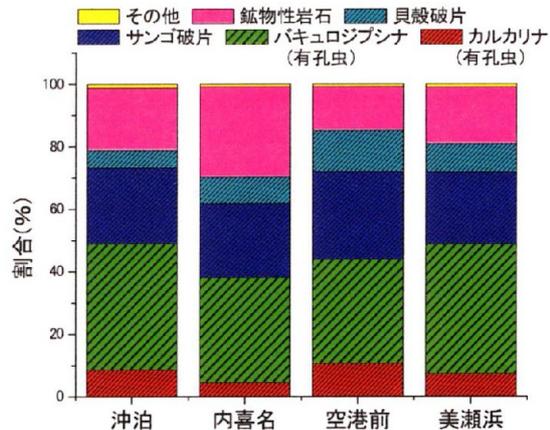


図-1 沖永良部島の海浜での組成分類

分類結果を表したのが図-1である。これから、内喜名海岸、空港前浜両海岸ともに生物性の底質は重量比で70%を超えている。空港前浜では生物性と考えられる底質材料の割合が90%近い値となっているため、この海岸の底質供給源は有孔虫・サンゴ礁の生息場所であるリーフ・フラット前面と背後の隆起サンゴ礁が考えられる。サンゴ破片の供給はリーフ・フラット前面で碎波された波の影響でサンゴが破壊されているためと考えられるが、有孔虫の供給は *Baculogypsina*、*Calcarina*の生息域がこのリーフ・フラットにあるため高い割合となっていると考えられる。また、内喜名海岸の場合も生物性材料の割合が高いことについては、空港前浜と同様の原因が考えられるが、ここでは岩石の割合も比較的高いことがいえ

る。これは、海浜背後に堆積岩層の丘陵が広がっていることが一因であるといえる。

(2) 沖永良部島の海岸の底質粒度

調査地海岸の底質中央粒径は図-2に示すように、ほぼ0.33mmから1.04mmの範囲にほぼ収まり、目視観察からもシルト・粘土成分はほとんど含まれていなかった。特に、沖永良部島の海岸では、湾門浜の粒径が0.54mmと他の海岸に比べ細かい値を示しているが、これは湾門浜が台風の進入方向と反対の北西に面し、約0.5kmと狭いポケットビーチとなり両端が岬により囲まれているために遮蔽効果で波の影響が少なく、かつ、両端の岬が底質移動を抑制する境界条件として効いたために、他海域と比べて細かい底質でも動かないものと考えられる。また、粒径の大きい物は、調査地では最も北側の空港前海岸の南端側の隆起サンゴ礁下部で採取された底質であった。

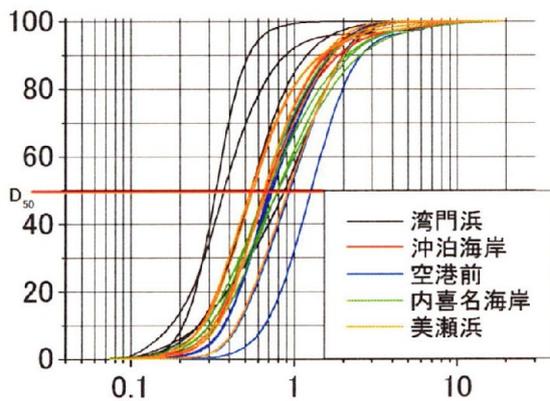


図-2 沖永良部島自然海岸の粒度分布

(3) 自然海浜と養浜海浜の粒度分布

自然海岸は図-3に示すように、瀬長島、北名城、名城、米須、米須貝塚、新原、アージ島、久場、泡瀬を那覇市近郊から反時計回りに踏査した。これらの海岸は、養浜を行っておらず、底質供給が人為的でない。米須貝塚が、他海岸の中央粒径より粗く1.26mmとなっている。また、アージ島、久場海岸、泡瀬海岸の粒径は比較的細かい値を示している。この内、久場海岸と泡瀬海岸はカルデラ状の中城湾奥に位置し、久高島、津堅島により囲まれ、入射波が遮蔽される傾向にある。加えて、この海域はサンゴ礁が発達し広い浅水域が海浜前面に広がることから、海浜底質に作用する外力が小さくなるために底質粒径が細かいと考えられる。

養浜海岸として選んだのは図-4に示すように、東シナ海側のトロピカルビーチ、太平洋側の安座真ビーチである。両海浜とも観光客や海水浴客のために'93/5と'01/4に完成した養浜海岸である。養浜底質源は、両海岸とも那覇沖のチービシである。底質粒径はそれぞれ0.59mmと0.53mmとほぼ同一粒径になっており、養浜経過

年数による粒度変化の顕著な相違がなかった。淘汰係数はそれぞれ1.57、1.42となり淘汰が良いことが分かる。

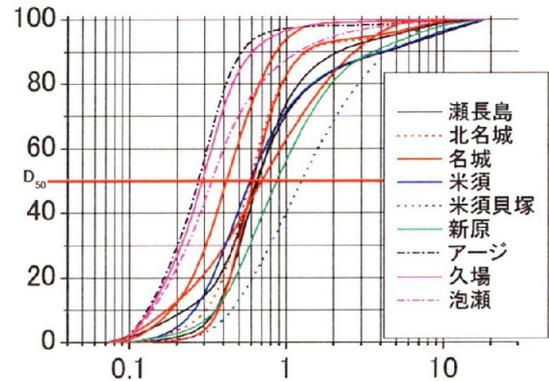


図-3 沖縄本島自然海岸粒度分布

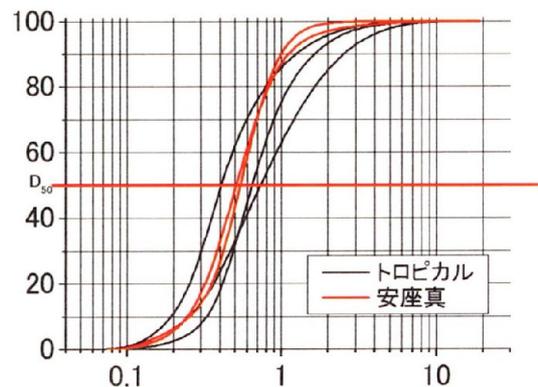


図-4 沖縄本島養浜海岸粒度分布

(4) 植生域と汀線部の中央粒径の相関

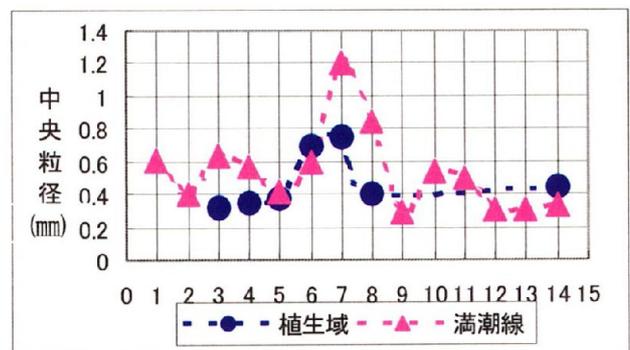


図-5 植生域と汀線部中央粒径 (mm)

図-5は、各海岸の中央粒径を満潮線と植生域に分けて表したグラフである。これを見ると、最も南に位置する米須貝塚 (7) の中央粒径が満潮線、植生域ともに最も

大きな粒径である事が読み取れる。また、同じ地点での満潮線と植生域の中央粒径(図-6)を比べてみると、例外を除き、満潮線のほうが粒径は大きくなっている事がわかる。

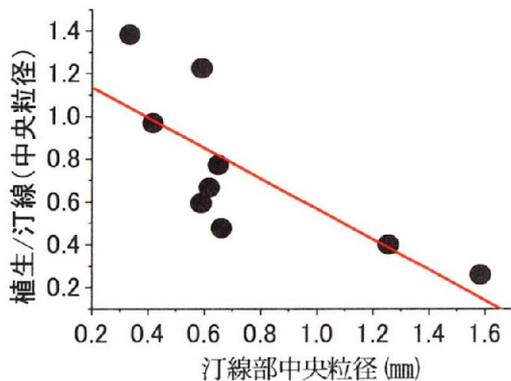


図-6 植生域と汀線部中央粒径の相関

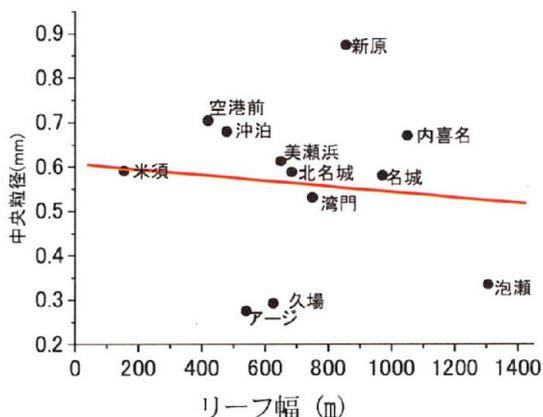


図-7 リーフ幅(m)と中央粒径(mm)

(5) リーフ幅と中央粒径(mm)

リーフの岸沖幅が長ければ、暴浪時の波エネルギーはより減衰し、海浜に到達すると考えられる。したがって、汀線付近の底質に作用する流体力は小さくなり、底質粒径も細くなるはずである。リーフ幅と底質の中央粒径の相関を図-7に示す。リーフ幅が狭くても中央粒径が細かい値を示しているものもあり、全体的に相関線よりも大きく外れている。その中でも、久場海岸と泡瀬海岸は、前述した通り中城湾奥に位置し、湾内は比較的浅い海域となっているために波が遮蔽されるため、リーフ幅以上にリーフ沖合海底勾配など地形的要素の作用や遮蔽物または波向きといった要素が強いと考えられる。また、リーフの沿岸方向が長い海岸では底質の沿岸方向の移動も考えなければならない。これらの諸要素のうちリーフ沖合斜面勾配の効果については、リーフ幅だけではなく、開口方向や沿岸方向ビーチ長さや両端の境界条件等を取り込む必要性を感じた。

4. 海岸廃棄物(ガラス材料)

(1) ガラスの再利用に関する考察

サンゴ礁海浜の保全工事を行う場合、土砂供給量を人工的に行う養浜が環境にやさしい有効的な工法といえる。ところが、サンゴ礁海浜の養浜を行う場合には、沖縄のサンゴ州を浚渫して養浜材料として使用することが多く、一方で環境破壊を引き起こしている。このような現状では養浜の代替材料、あるいは砂浜の内部に埋め込む中積材を考える必要がある。そこで、 SiO_2 つまり石英などと同じ組成を持つガラスをリサイクルする可能性をすることも有効と思われる。そのために、実際に海岸に漂着しているガラス材を空港前浜で採集しその分析を行った。



写真-4 ガラス材料採集を行った自然海浜の様子



写真-5 海岸漂着物としてのガラス材料

写真-4に空港前浜の海浜の様子を示す。海岸は北東方向に開き、海岸線の長さは約250mであり、後浜背後にサンゴ礁の海食崖がある。白い砂浜前面にはリーフ・フラットが広がり、そこで波が砕波され、穏やかな波が砂浜に打ち寄せている。砂浜には石灰質材料から浸出した炭酸カルシウムによって凝固した岩であるビーチ・ロックが散在している。また、有孔虫やサンゴ破片または貝

殻片などの多くの生物性底質が推積している。人の手がほとんど入っておらず、護岸も防波堤もなく、近くを道路が走っているだけである。

この海岸は、写真-5に示すような丸みを帯びたガラス材が数多くみられる海岸だったので、ここでは沿岸方向と岸沖方向の底質サンプリングの他に、このガラス破片の採集を、3人で約1時間行った。

採集したガラス材を色別に分類した結果を図-8と図-9に示す。その結果、重量、個数ともに青色のガラス材が最も多く、白または透明のガラス材が最も少なくなった。なお、ガラス材の磨耗、粒度分布については今後の研究課題である。

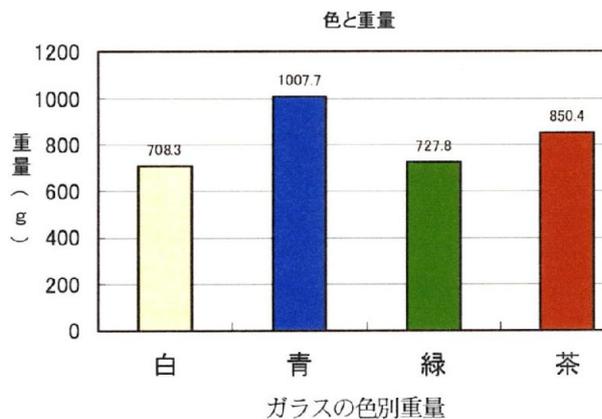


図-8 海岸漂着ガラス材料の色と重量の分布

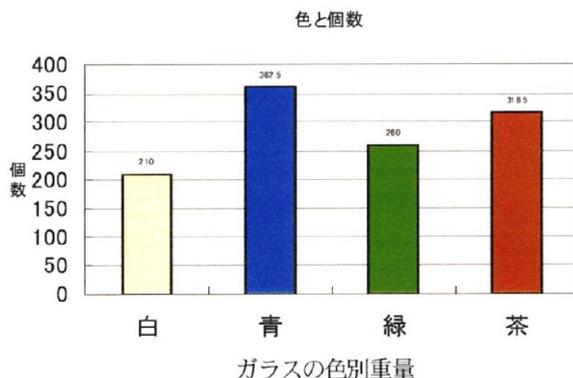


図-9 海岸漂着ガラス材料の色と個数の分布

5. 結論

本研究による主要な結論は、以下に示すとおりである。

1) 組成分類：沖永良部島の4海岸において組成分類を

行った。その結果を図-1に示す。特に、空港前海岸の自然海浜の底質の約90%は有孔虫などの生物性起源である。これら生物の棲息場所はリーフ・フラットであり、サンゴ礁海浜を保全するには前面のリーフ・フラットの保全も重要なことが分かる。

- 2) 粒度組成：沖縄県の実験海浜は、瀬長島、北名城、名城、米須、米須貝塚、新原、アージ島、久場、泡瀬を那覇市近郊から反時計回りに踏査した。これらの海岸は、養浜を行っておらず、底質供給が人為的でない。米須貝塚が他海岸の中央粒径より粗く1.26mmとなっている。また、アージ島、久場海岸、泡瀬海岸の粒径は比較的細かい値を示している。この内、久場海岸と泡瀬海岸はカルデラ状の中城湾奥に位置し、久高島、津堅島により囲まれ、入射波が遮蔽される傾向にある。加えて、この海域はサンゴ礁が発達し広い浅水域が海浜前面に広がることから、海浜底質に作用する外力が小さくなるために底質粒径が細かいと考えられる。また、沖縄県では基本的に養浜材としてチービシで採取した底質を用いるために、養浜された海浜での粒度分布は自然海浜に比べて狭い傾向があることが分かった。
- 3) 底質粒径とその他の指標の相関：汀線部と植生域での底質の中央粒径は、例えば、逆相関の傾向があった。これは、植生域には飛砂以外に、遡上波で押し流されてきた粗い底質が堆積することも一因と考えられる。また、リーフ幅が広いほど波の減衰がすみ波高が小さくなるために、リーフ幅と汀線部における中央粒径値には、相関関係が成立するのではと考えられたが、結果として一様な相関関係が得られなかった。

今後、サンゴ礁海域のサンゴ類が海水温の上昇などの何らかの原因で疲弊あるいは絶滅し、さらに海水準上昇が生じると、サンゴ礁性海浜の維持に必要な生物性材料が激減することも考えられるので、できるだけサンゴ礁海域の環境保全に留意しなければならないことが予想される。もっとも、調査海域においては組成表で示したもので鉱物質材料のものは残っていくであろうが、それは全体のうちの20%程度に過ぎない。今後、ガラス材を利用した砂浜養浜の可能性も考えられるが、なによりも自然環境の保全を優先すべきであると思われる。

参考文献

- 1) マリオ デ レオン・西 隆一郎・北村良介：海浜底質の粒度特性と透水係数について、海洋開発論文集 第24巻, pp. 1201-1206, 2008
- 2) 1/50,000海底断面図 海上保安庁 刊行