気候地形としてのサンゴ礁地形

武 永 健 一 郎

気候地形とは、ある地形の成因・地形発達を説明する時、多くの条件のからみあう中で、特に気候的要素が強調される場合に呼びうるものであろう。サンゴ礁地形は、成因上温暖地形であり、気候地形を構成する不可欠の分野である。しかし、現在までの日本では、そのような観点に立ったサンゴ礁地形の報告はあまりない。サンゴ礁地形の紹介すら数少ないようである。そこで、まずサンゴ礁地形の内容を提示し、つづいて海水準変化考察への応用、温暖性と石灰岩との関連、琉球列島における具体例などについて触れる。

1 サンゴ礁地形の内容

サンゴ礁地形の研究は、海中における礁形成時から、隆起して大気による浸蝕・削剝を受けるまでの過程を対象としている。その中にはサンゴ礁石灰岩の形成などという特有の領域が含まれている反面、他の地形分野とも共通する対象も多い。

それらを箇条書してみると、

(1) 現生サンゴ礁——礁の形成条件・礁の分類と発達過程・生態学的研究等。

(2) 海岸——ビーチロック・ノッチ・ベンチ・海食洞・フィッシャー・海岸砂丘（古砂丘も含めて）など汀線付近の微地形の形態・成因等。

(3) 隆起サンゴ礁——段丘面分類と堆積物・石灰岩の性質；カルスト地形（溶蝕形の研究等）；赤色土（その性質と地形面との対応）

(4) 洞穴——生成・破壊過程と侵蝕基準面・地形面との対応・二次生成物と古気候との関連等。

(1)の分野は生物学と共通の領域をもち、生物地理学ともいえよう。

(2)の分野の多くはサンゴ海ではなくてもサンゴ礁石灰岩を基盤としなくても、みられることがある。しかし、サンゴ海における方が典型的である。ビーチロックやノッチ・サンゴ礁石灰岩であることが特殊な地形をつくり出すベンチ・古砂丘等は、サンゴ礁地形としての見方をし

てよいであろう。

(3)はカルスト地形と呼ばれている分野とはほぼ一致する。サンゴ礁が石灰岩を形成することから、これは当然のことである。ただ中生代・古生代の石灰岩を基盤石とする場合より、第四紀石灰岩を基盤石とする方が、地形変化がより速かであるといえよう。

また、隆起サンゴ礁は温暖海域における海岸段丘を示すことが多く、その研究方法・研究の意義づけは、海岸段丘としての取扱いの中で考えうる。

(4)の洞穴は、サンゴ礁地形としての扱いがむしろ奇異に感じられるかも知れない。しかし、第四紀に形成された未だ十分に固結していない石灰岩では、洞穴の形成・破壊が速に行なわれる。このことは、礁石灰岩形成時から現在までの気候変化・海水準変化を敏感に反映していることを示す。

2 海水準変化の指標としてのサンゴ礁

サンゴ礁は海水面直下に形成されるから、旧海水準を推定する場合、従来のように海岸段丘や汀線付近の堆積物を用いるより、利点が多いといえよう。造礁性石灰岩の存在は、形成当時の温暖性を示すという古気候をも暗示している。

ただし、特に日本およびその近海のサンゴ礁を対象とする場合、以下のことをよく理解しておく必要がある。(1) 第四紀石灰岩には岩相のちがいがさほどないこと。(2) 同一海面においても堆積環境によって造礁性石灰岩・堆積性砂礫のちがいが水平的に短距離の所でみられること。(3) $10^4 \sim 10^5$ 年単位での示準化石の不足。(4) 形成条件を敏感に反映し、サンゴ礁の欠如・発達の悪さなどがみられること（例 Mud Control）。(5) 隆起後の溶解。(6) 石灰岩固結の位置的相違とそれから起る差別侵蝕。(7) 石灰岩部と非石灰岩部との段丘対比の困難さ。(8) 局地的地盤運動の大きいこと。

古海水準の推定にあたっては、石灰岩の分布

・高度だけをとりあげて論ずるものではなく、石灰岩や堆積物の詳細な検討・非石灰岩地域との関連・赤色土・洞穴などを総合的に結びつけねばならない。

3 第四紀石灰岩と温暖性との関連

1) 石灰岩の厚さについて 現在の気候下におけるサンゴ礁の北限は小宝島と考えられるから、琉球列島海域では、現在の平均水温から $1^{\circ}\sim 2^{\circ}\text{C}$ 低くなっただけでサンゴ礁の形成が止んでしまうことになる。従って、サンゴ礁石灰岩の存在そのものが温暖気候を示すともいえようし、厚さが温暖性の尺度としてある程度用いられてもよいといえよう。しかし、厚さを考える場合、同一海面下で形成された石灰岩層の上限・下限の認定、海面変動と地殻運動との間の相対的昇降量の算定等を行わねばならない。これらを知ることは非常に難かしいが、およそ次のようにまとめられる。

第1にこの地域がサンゴ礁分布の縁辺部であるから、一間氷期に形成される造礁性石灰岩の厚さは数 10 m 以内でやすい。第2に、高位段丘群では 40~50 m の厚さに達することもあり最も厚い。低位段丘群でも厚さ 40~50 m になることもあるが、砂礫性のものが大部分である。

造礁性石灰岩が厚いということが、その形成期の温暖性が強かったということに直接つながらないことはもちろんである。気温の上昇につれて海面も上昇し、海水表面の水温がサンゴ礁を形成しうる値を示すようになった時から、その海面直下に造礁性石灰岩の形成が始まるのである。従って、海進時には同石灰岩は厚くなるし、海退時には同石灰岩が刻まれることになる（造礁性のある高温なら、海退時にも不整合で薄い造礁性石灰岩をのせるではあろうが）。

また、造礁性石灰岩をのせる基盤地形の起伏にも厚さは影響される。基盤地形がゆるやかに海方へ傾斜している場合には、造礁が始まった海水準時の汀線のやや外側で最も厚くなるであろう。海面の上昇に伴いサンゴ礁は上方成長し、かつ外方成長するからである。「やや外側で」という表現をとったのは、外方成長量が条件によって異なるという意味である。

2) 造礁性の強さについて サンゴ礁形成期の環境によって、隆起後の石灰岩の岩相は異

なる。高温時には造礁性の著しい生物相がみられるほか、堆積成層状態からもある程度判断しうる。すなわち、岩相が成長型の成層状態を示していたり、マトリックスに当る細粒部の不足から孔隙部の多い状態になっていたりする。琉球列島では、最終間氷期の最暖期に形成された石灰岩層や後氷期段丘構成層の一部にその例をみることができる。

高位および中位段丘群の造礁性の高い石灰岩は再結晶がかなり進み、蜂巢状の孔隙が水平に並んだ成層状態を示す。これを朝戸石灰岩と呼ぶ。朝戸石灰岩は侵蝕されて、特異な形の pinnacle をつくる。

3) 砂礫層と古砂丘 低位段丘群最高位に造礁性の高い面があり、多くの地域で海拔 40 m 前後に大きな広がりをもっている。この面形成以後は、造礁性はしだいに衰え、段丘面堆積物は砂礫質となってゆく。現地では、この未固結の礫質石灰岩を「イニャグ」、砂質石灰岩を「イシグ」などと呼んでいる。これら砂礫質堆積物を母材として、リス・ヴェルム間氷期の暖期前後から古砂丘の形成が一部が始まっている。現在、喜界島・沖縄本島勝連半島・同港川・トカラ宝島などで分布を確認しており、最高高度は 70 m 近くになっている。また、海面下につづく古砂丘の例として、伊平屋野甫島・伊是名具志川島を挙げることができる。

4) ベンチとマウンド 造礁性の著しいサンゴ礁は、その外端にマウンドないしリッジ状の高まりを残す。その形態の完全さが、暖かさと密接に関連するように思われる。これについて、南大東島を例にとり述べる。

40 m 強に達したリス・ヴェルム間氷期(?)の海水位は、小停止・小波動をくり返しつつ低下してゆく。その間に、40 m (万坐毛面)、30 m (北海岸面)、23 m (墓場面)、18~12 m (砂穴面)、

第1図 南大東島北海岸(国京下)の地形断面図

12~5 m (上陸所面) にベンチを作っているが、マウンドは高位のものほど著しいし、serrationの状態さえ残っている。なお、後氷期の最高海水準に対応する面は、かなりの造礁性を示し、砂穴面程度にはなっているようである。

4 温暖地域におけるサンゴ礁以外の気候地形

造礁性隆起石灰岩の分布は、同岩形成当時の高温を示すが、隆起後に受ける気候変化によって、地形・岩質の変化が行なわれる。石灰岩自体の地形・岩質から気候変化をある程度読みうることもある。温暖地域においても、侵蝕緩斜面・山砂利・岩塊流等々に注意する必要がある。例えば；

- (1) pediment 類似形の侵蝕緩斜面が、徳之島・沖永良部島・伊平屋島・伊是名島他にある。
- (2) 隆起準平原 (山頂小起伏面) は奄美大島北部の海拔 300 m 前後にある。
- (3) 山砂利は、奄美笠利・台湾等に分布している。
- (4) 岩塊流岩屑流類似地形が伊是名で見られる。

これらはすべて、琉球列島で典型的であるとはいえない。しかし、発生的には温暖性をさほど強調しなくてよいようなこれらの地形があるということは、琉球列島がサンゴ礁分布の北限に近いと考え合わせる時、重要性を増す。また、上記各地形が典型的に発達する地域との比較考察をすることにより、特殊な気候の要素を引出しうる可能性もある。このように、温暖地域にみられるすべての地形の中で、サンゴ礁地形もとらえるという視点が必要である。

5 琉球列島中部地域への応用

筆者が調査してきた琉球列島中部地域について、段丘を中心に地形面の分類・性格をまとめてみると次のようになる。

(1) 段丘面は、高位 (更新世前期?)・中位 (更新世中期?)・低位 (最終間氷期およびそれ以後) 各段丘群と、後氷末期段丘面とに分けることができる (第2図)。

(2) 高位段丘群は造礁性が著しく、100 m 以上に礁帽をもっていることが多い。中位・低位・各段丘群は堆積性の砂礫が主となる。

第2図 鬼界島の地形面分類 (1967)

Ia・Ib・Ic: 第 I (高位・百ノ合) 段丘群

IIa・IIb: 第 II (中位・長峰) 段丘群

IIIa・IIIb・IIIc: 第 III (低位・川峰・羽里・湾東原) 段丘群

IIIsd: 第 III 段丘上の古砂丘

IV: 第 IV 段丘 (最低位・後氷期)

IVsd: 第 IV 段丘上の新砂丘

IV': 崖線および IV を基準面として発達した地形面

斜線部: 崖および急斜面

太線: 顕著なリニエーション

(第 IV 段丘外縁は漸移しているので、ここでは 1/25000 地形図における海岸線をもって、その外端とした。本図は筆者 (1961): 喜界島の珊瑚礁地形 広島大学卒業論文の付図に加筆・訂正したものである。)

(3) 多くの島において、最も広く平坦な段丘面がリス・ヴェルム間氷期の形成と考えられるが、これは低位段丘群最高位にあり、高度 40~50 m のことが多い。同面形成後、海面の間歇

表 琉球列島中部地域の海岸段丘対比表 (試案)

徳之島 (中川 1964 1967)	宝島 (・1964)	笠利 (・1964)	喜界島 (1968)	知名 (1962)	与論島 (1960)	伊平屋島 (1966)	伊是名島 (1966)	沖縄中部 (・1967)	南大東島 (1965)
I 海岸 および 低地	IV (3)	VI (0-1)	Nb(0-5) Na(5-10)	(0-5)	汀線付近 の微地形 (0-3)	(0-1)	(0-2)	IIIb(0-6) IIIa(7-10)	D(0-3)
II 低位 段丘	III (14-15)	V (5-8) IV (13-16)		(5-30)	古里 段丘群 (3-35)	(8-9)	(15)		J(5-12) S(12-18)
III 亀 津 丘	IIb(20-23) IIa(28-37.8)	III(18-25) II(30-40)	IIIc(30) IIIb(50)	(40-50)	ウロ段丘 (40)	(15-20)	(25-35)	IIb(15-50) IIa(35-70)	H(23) K(30) M(40)
IV 木之香 段丘	I (50-60)	I (40-55)	IIIa(70) IIb(100) IIa(120) Ic(180) Ib(200) Ia(220)	(80-100) (70-140) (140-200)	葉段丘群 (40-60) 朝平 段丘群 (60-97.2)	(35-80)	(40-60)	Ia(70-120)	Ro(50-55) R1(60-74) R2(50-55) R3(40)
V 糸木名 段丘									

(注) 最左欄の中川の分類に対照させた。

* は共同調査者・桑原による段丘面分類・高度。

** は共同調査者・堀による段丘面分類・高度。

(いずれも時代対比は筆者の解釈)

() 内の数字は高度。~~~~は古砂丘形成期。

横の線は対比するためのだいたいの目安として引いたもので深い意味をもたない。

的低下に伴い、階段状に段丘ないしベンチを刻む。その低位のものほど造礁性が弱い。ただし、後氷期段丘面は再び造礁性が大きくなる。なお、中位段丘群は上位段丘の外方斜面上にステップを刻んだ形のものが多く、基盤が露出していることもあるし、分布・対比性も良くないことが多い。

(4) 中位・低位段丘群の砂質堆積物は、リス・ヴュルム間氷期～ヴュルム氷期にかけて古砂丘を形成した。

(5) 高位段丘形成後に侵蝕緩斜面の形成の行なわれた地域がある。

(6) 現在の気候下では、赤色土形成は活発に行なわれているとはいえない。また、後氷期の地形面にも赤色化はみられない。著しい赤色化には、少なくとも現在からリス・ヴュルム間氷期までの時間的長さ、同間氷期程度の温暖性が必要と考えられる。

(7) 琉球地背斜部にブロック運動があり、各島で段丘面高度にかなりのちがいがあ。後氷期段丘をとってみても、喜界島の5～10mから伊平屋島などの1m以下までの差がある。

(8) 非石灰岩地域より石灰岩地域の段丘の方

が原面高度に近いことが多い。また、段丘面の傾斜は石灰岩部で非常に小さいが、非石灰岩部では波状を呈し緩傾斜することが多い。各温暖期に形成された石灰岩の厚さは数10m以内であることが多い。そのため、隆起後に削剝されて基盤の露出していることがしばしばある。

琉球列島中部地域の段丘面对比表を試案として示す(表)。対比するための資料が未だ十分でないので、この試案は今後検討され改められる必要がある。

本論文は武永健一郎の遺稿を故人の残した計画に従って、武永佐知子が整理し、投稿したものである。

(1972.1.28 受理)

文 献

- Hanzawa, S. (1935): Topography and geology of the Riukiu Islands. Tohoku Imp. Univ. Sci. Rep. 2nd Ser. (Geol.) 17 61 ps.
- 波多江信広他 (1964): 奄美諸島のサンゴ石灰岩 鹿児島県調査報告書 1～15
- 小西健二 (1965): 琉球列島(南西諸島)の構造区分 地質雑 71 437～457
- 町田 洋 (1969): 薩南諸島の地形, 「薩南諸島の総合的研究」 明治書院 20～52

- MacNeil, F. S. (1960): Tertiary and Quarternary gastropoda of Okinawa U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 339 ps
- 中川久夫 (1967): 奄美群島徳之島・沖永良部島・与論島・喜界島の地質 (I) 東北大理地古研邦報 **63** 1~39.
- 佐藤 久 (1959): 奄美諸島の地形「奄美 (自然と文化)」九学会奄美大島共同調査委員会 39~53
- Stoddart, D. R. (1969): Ecology and morphology of recent coral reefs Biol. Rev. **44** 433~498
- 武永健一郎 (1965a): 沖縄南大東島の池沼と地下水 地理科学 **4** 6~14
- (1965b): Beach Rock の成因について 地理評 **38** 739~755
- (1966): 沖縄南大東島の Shore Feature 地理科学 **5** 1~22
- (1968a): Notch の形態と成因について 地学雑 **77** 329~341
- (1968b): 喜界島の地形・地質 鹿児島県海中公園学術調査報告 263~300
- (1968c): 琉球列島中部地域における後氷期の海水位 地理科学 **9** 14~29
- (1969): 沖縄南大東島の洞穴の地形学的意義 第四紀研究 **8** 60

Coral Reefs in the Climatic Geomorphology

Ken-ichiro TAKENAGA

Coral reefs are important in the climatic geomorphology. Following items are investigated: living coral reefs, shore features (beach rock, notch, bench, sea cave, fissures, coastal dunes), elevated coral reefs (terrace classification, character of deposits and limestone, karst landform, terra rossa), limestone caves.

Such phenomena well indicate the sea level at present or past, and are very useful to prove the sequence of sea level change.

The thickness of limestone is an indicator of the duration of warm period and the rock facies instruct the environment of the rockbuilding. Paleo-dunes are built at the last interglacial.

写真 1：沖縄南大東島南区幕下 C1 洞

洞穴は平面的であり立体的でない、形成が速かである、保存が良いなどという特色がある。Cave travertine は速かに形成され、種類が多く、色彩も豊かである。写真のツラ石の長さは 50-80 cm 位のものが多い。色彩は純白・黄・黄土・茶色とさまざまである。鐘乳管の長いものは 80-90 cm に達する。この洞の低部には潮汐によって上下するプールがあり、 Cl^- 含有量は 353 ppm であった。(1969. 8. 12)

写真 2：与論島ウロ山脈の石灰岩

瓦を重ねたような形は活発に上方成長していったことを示す。与論島ウロ山脈は頂部が海拔 40 m 前後であり、内側からの比高は 20-30 m を示す堤防状の高まりである。(1961. 8. 20)

写真 3：与論島の朝戸石灰岩

造礁性の強い石灰岩が再結晶し大気中に曝された時、孔隙が水平に並ぶ、しばしば、基石状～記念碑状の pinnacle をつくる。中位以高の造礁性の強い段丘群で見られる。(1962. 9. 3)

写真 4：沖縄伊平屋野甫島の古砂丘砂板とノッチ

野甫島は伊平屋村に属し、本島南端ユニ岬の西 250 m にあって面積は約 1 km²。全島古砂丘から成り、NNW-SSE 方向に 5-6 列のリッチがのびる。最高点は 42 m。この写真は北海岸であるが、海底にまで古砂丘が続くことが分る。内陸では砂層となっているところもあるが海岸部では固結が良い。砂板の層理がノッチの形態に影響を与えている。現在このノッチの形成は止んでいるが、これはノッチ基部にラビエがみられることで解る。(1962. 4. 24)

写真 5：沖縄南大東島のベンチとマウンド

南大東島の海岸では 3-6 段のベンチがみられ、しばしばその外端はもりあがってマウンドをつくっている。高位のものほど造礁性が著しく形も顕著である。30-40 m のマウンドの石灰岩はガラガラした状態を示していたり、serration がみられたりする。植生・赤土のみられるのはほぼ 20 m 以高であり、畑は最高位のマウンドのさらに内側にある。写真は東海岸の海軍棒一斉藤港間（海岸 83）付近であり、3, 8, 17, 28, 36 m にベンチが認められる。(1965. 4. 12)