

サンゴ礁と石灰岩 (3)

大山 桂 (地質部)

7. サンゴ礁の形成と消滅 (2)

ムーレイの説 サー ジョン ムーレイ (Sir John Murray) という人は 海底の底質を研究した人で ダーウィンとは全く別の成因説を提唱した。ダーウィンは サンゴ礁の成因説には無くてはならぬ人だが それ以上 進化論で有名であるように ムーレイも サンゴ礁の成因説よりは チャレンジャー号 (H. M. S. Challenger) の報告の監修者として有名で たとえば報告の各巻の表紙に 二人の船長の名と 初代監修者と その後継者ムーレイの名を表示している (第21図)。チャレンジャー号の報告といえは A 5 版より少し大きいサイズで 薄い紙を用いた複製版でさえ どの巻でも厚さ 5cm を超えるくらいの大ささで 全巻そろえば 厚さの合計は 4m を超し 探検報告の中で一番有名である。この中に設定した新種名には ムーレイに献名された種類が少なくないから 海産動物の専門家ならば たいいていの人にはムーレイの名を知っている。

ムーレイの説は ダーウィンの説とは逆の立場とでもいえる構想であって 浅海底の平坦面で 普通20m以浅

どんなに深くても60mまでの深さであれば サンゴは上に向って延びるという点が原点になる。平坦面といえなくとも 明神礁のような海底にそそり立つ岩礁が 熱帯地方に生じたと仮定してみてもよい。浅海にそびえる岩の表面で 公害が及ばない所ならば 岩肌がいつまでも露出していることは まず無いと考えてもよいようである。ほとんど例外なしに 岩礁性生物の幼生が来て住みつく。底棲生物の中でも サンゴやカキのように 石灰質の物質で附着する種類もあれば 石灰質ではないが体の一部で固着するイソギンチャクのようなものもあり また 固着せずに岩礁上に匍いまわる巻貝 ヒトデ ナマコのような動物もあり これらが遅かれ早かれ 棲みつくことになる。その中でも サンゴが 他の生物よりも優勢になりやすいことは 前回述べた。

現在の明神礁のような浅海底の岩礁には サンゴが上に向って延びることは事実だろう。海底にぼつんと位置する明神礁のような暗礁ならば 水は礁に向って収斂し 礁から離れるときに発散線を作る。収斂と発散については 後の章でも種々の例をあげて説明するからあまり多くの説明はしないが プリンシプルだけを解説しておく。卑近な例として 水道のホースから流れ出す水を例にあげる。水道のホースから流れ出す水は指で押えなければ近くにしか落ちないが 指で押えて出口を狭くすれば 同じ圧力のもとで 同じ時間に 水流が速くなり 水力が強くなり 遠くにまで水が飛んでゆく。指で押えて水を収斂させたから 水の力が強くなり 速くなることは ストークの法則によるものであるが 後章で再度扱うことにする。

海中にも同じ原理が通用する。流れを示す線 (流線) を上流 (第22図の左側) で等間隔にとると 流線と流線との間隔が狭くなるように流れることが収斂 間隔が広くなるように流れることが発散である (第22図)。このように 岩礁に向って水流が収斂し 岩礁から離れるときに発散するならば 収斂する所では 収斂しない所よりも 単位時間に多くの水に洗われ酸素と 餌になるプランクトンとの供給が多くなる。

REPORT
ON THE
SCIENTIFIC RESULTS
OF THE
VOYAGE OF H.M.S. CHALLENGER
DURING THE YEARS 1873-76
UNDER THE COMMAND OF
CAPTAIN GEORGE S. NARES, R.N., F.R.S.
AND THE LATE
CAPTAIN FRANK TOURLE THOMSON, R.N.
PREPARED UNDER THE SUPERINTENDENCE OF
THE LATE
Sir C. WYVILLE THOMSON, Knt., F.R.S., &c.
REGIUS PROFESSOR OF NATURAL HISTORY IN THE UNIVERSITY OF EDINBURGH
DIRECTOR OF THE CHALLENGER SCIENTIFIC STAFF OF BOARD
AND NOW OF
JOHN MURRAY
ONE OF THE PUBLISHERS OF THE LITERATURE
ZOOLOGY—VOL. XIII.

Published by Order of Her Majesty's Government
1885

ダーウィンの時代にすでに サンゴ類は熱帯地方の清澄な浅海に多いことが知られていた。海が澄んでいるということは プランクトンも プランクトンの遺骸もその他の懸濁物もほとんどないことであり 深くまで透視できるので 透明度が高いともいう。したがって 単位時間に速く流れて 少ないながらもプランクトンを少しは供給するほうがより良い環境で 結果的には収斂する所が良い環境ということになる。

そこで 浅海に岩礁があれば 流線は岩礁に向かって収斂し その岩礁にはサンゴ礁が繁栄しやすいことになる。岩礁の上面にサンゴ礁を生じて上に向かって伸びれば ごく浅い所では ますます収斂し その結果 また上方に伸び 終には水面近くまで達するようになる(第23図)。

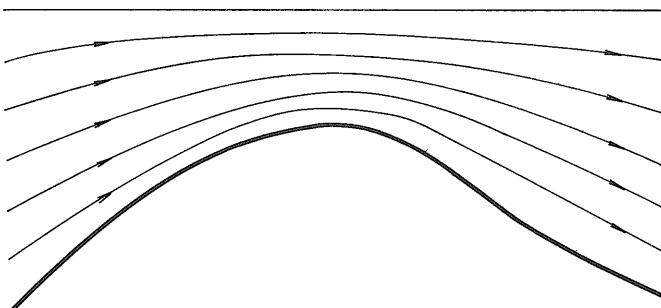
今まで浅海という用語を用いてきたが 厳密に定義したほうがかえって解りやすいと思われるので一言述べておく。潮が引いてやっと露出する線(低潮線)から約200mあるいは 100 フォム(182.88...m) 時には本邦の100 ひろ(181.82...m)までを 生態学上 浅海区という。そして 海岸近くはやや急深で 少し沖のほうが遠浅になっていることが多いので 地形の変化にも関連して生物相が若干相異なる。そこで 浅海区を上部と下部とに分けることが多いが その境界を50mないし60mにおいている。筆者の区分では 浅海区の上部も下部もさらに二分して 浅海区を四分するが 浅海区上部を上から 上浅海帯 中浅海帯 に分け 上浅海帯と中浅海帯との境界を 20mないし30mにおいた。この区分は貝類の垂直分布から設定したものであるが 造礁サンゴにも適用され サンゴ礁が繁栄する部分は上浅海帯に属し 少し生息する所が中浅海帯になる。上浅海帯がよいといっても 浅いほうが良いことは 藻類を宿すために日射が必要で 光線の強さは水面から距離の二乗に反比例して減ることから理解できよう。

話題をムーレイの成因論に戻し 浅海底のサンゴが上に向かって伸びて ほぼ水面に達する所に焦点を当てる。

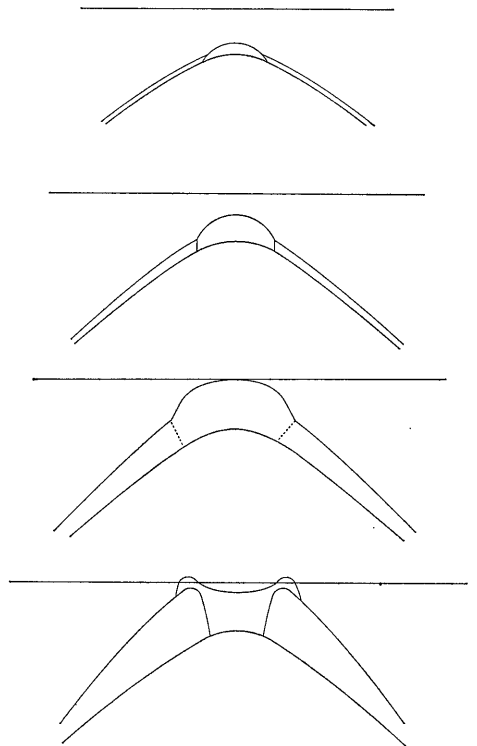
水面近くに達したサンゴは周囲に向かって拡る。サンゴ類の多くは 空気中で直接日射を受けると弱るものが多く したがって 空気中に露出して死滅することがある。波が立って 一時的に空気中に露出したり またすぐ波で洗われたりして 露出してもすぐ水没する程度ならば 生存にたいして問題はないようである。ムーレイの説では 上にも述べたように 浅海の平坦面に造礁サンゴが生育することから始まる。この平坦面とは 造礁サンゴが上に向かって伸びてから 周囲に拡るとき水中でキノコの笠のようにも 円錐形を逆にした形にも 伸びないから 結果的には周囲に拡大できる地形が選ばれたようである。

次に 水面近くに達したサンゴ礁は 周囲に拡れば拡るほど 中央の部分が 空気中に露出しやすくなり 生物の遺骸その他底質が堆積しやすくなる。波が来て 遺骸その他の堆積物をサンゴ礁の周囲に流し去ることがあっても 低潮時雨に打たれたり 堆積物がまたたまりたりして 好ましい環境でなくなる。このようなわけで サンゴ礁が周囲に伸びれば 中央の部分から徐々に死滅してゆくことになる。

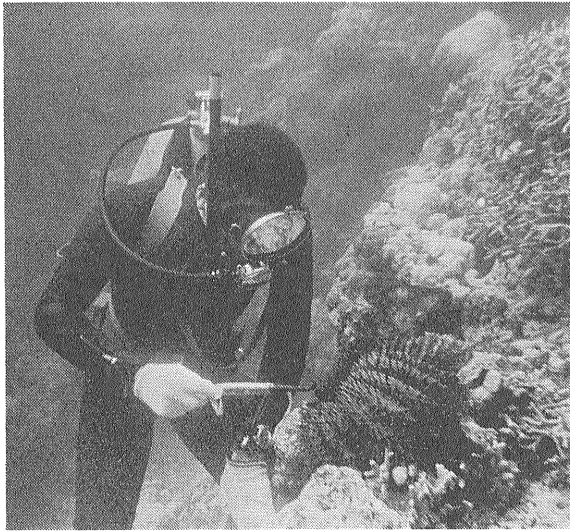
サンゴ礁の周囲は 主としてサンゴ礁から供給される



第22図 流線の収斂と発散 左側から堆(海底の隆起部)の頂上に向かって収斂し 頂上から去るに当り 発散することを示している



第23図 ムーレイによるサンゴ礁の成因説 (概念図)



第24図 サンゴ虫を食い荒すオニヒトデ *Acanthaster planci* (LINNAEUS)

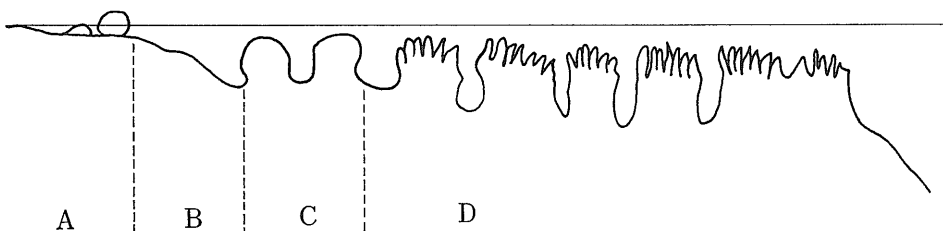
堆積物がたまる。たとえば サンゴ虫が食べたプランクトンの石灰質の部分は吐き出され プダイがサンゴ虫を食うとき サンゴの破片が海中に落ちることもあろう。サンゴ礁が大きくなれば サンゴ虫の敵もふえ サンゴ礁の一部に死滅したサンゴも生ずる。たとえば オニヒトデに食われた部分はその例になる (第24図)。したがって サンゴ礁には 生きたサンゴの間に サンゴの遺骸が散見することがよくある。サンゴの遺骸の上は岩礁性の生物の生息場所になる。オニヒトデが大量発生でもすれば サンゴ虫は喰い荒されて 遺骸が散見どころではなくなり どちらを見てもサンゴの遺骸ばかりになりかねない。そこで 岩礁に棲む貝類 ウニ類 ナマコ類 ヒトデ類 が匍いまわるスペースが広がる。あるいは 二枚貝類が 下殻片で固着したり 足糸という糸を出してサンゴの遺骸と遺骸の間のすきま 時にはサンゴの遺骸の上に着いたりする。また オニヒトデにしても トウカムリやホラガイという強敵があるので 無限に近いふえかたはしない。サンゴやカキの下殻片のように固着する生物 あるいは 穿孔する生物は 遺

骸が地物から離れることが少ないが カキ類やウミギク類の上殻片 ならびに サンゴの生体や遺骸の上を匍う生物の遺骸は サンゴ礁の岩盤の上 または 岩盤の上に積った砂の上に落ちてくる。

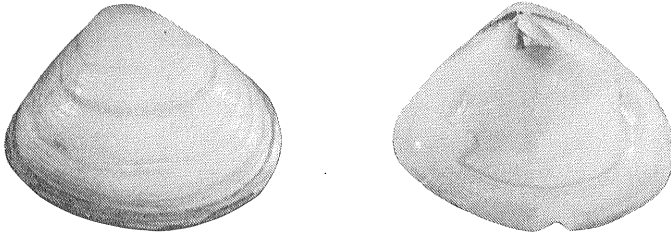
小さいサンゴ礁ならば 表面が平坦に近いものもあるが 大きいサンゴ礁になると サンゴが繁栄する部分とあまり成長しない部分とができてくる。サンゴが繁栄する所では 他より高くなり 成長が後れる部分は ほぼそのままの状態が続くから サンゴ礁の上面には起伏ができる (第25図)。場所によっては 樹状のサンゴも見られる。そのサンゴ礁の谷間に当る部分は 生物の遺骸やその破片などが 礫や砂として堆積する。海が荒れたり 波が立ったりして 浮き上がった底質が遠くに運ばれることも また くぼみの中から浮き上り 同じくぼみにふたたび落ちてくることもあろう。しかし サンゴが成長して そのくぼみが周囲に比べて相対的に深くなり 壺のような形にでもなれば 底質はもう浮き上らなくなる。ただし底質になる物体の供給が多ければ 底質がくぼみを埋めてくぼみが浅くなり ふたたび浮き上がることがないとはいえない。

このように 上面に起伏があるサンゴ礁が 水面近くに達し くぼみを底質で埋めてゆけば サンゴ礁の外側では波が強く打っても 幾つかの高まりを超えて内側に行くまでには 波の力は弱まり 砂と礫とから成る小島ができ 海が荒れたり 波が立ったりして 少しは砂や礫を島の周囲の海中に落すことがあっても サンゴ礁が外側に向って延びてゆけば 島そのものも大きくなって 干潮と満潮とで 露出したり 水没したりする所 (潮間帯) にも 砂底が発達してゆくようになる。砂浜が発達すれば 砂浜に棲む動物の幼生が漂着し また ヤシの実などが打ち上げ 潮間帯の砂の中にはイソハマグリ (第26図) 潮間帯より少し上位にはスナガニ (第27図) の類が棲みつくようになる。

乾いた陸地が広くなり 津浪は別だが 大波が立つくらいでは 水没しなくなれば 海鳥が来て巣を造るよう



第25図 サンゴ礁の上の起伏 (ギルバート諸島の概念図) A: 潮間帯 B: 干潮線のすぐ下 (紅藻も生える) C: (死んだサンゴに紅藻が生える所) D: Millipore 帯



第26図
 イソハマグリ *Atactodea striata* (Gmelin)
 サンゴ礁の近くの潮間帯の砂中に棲む

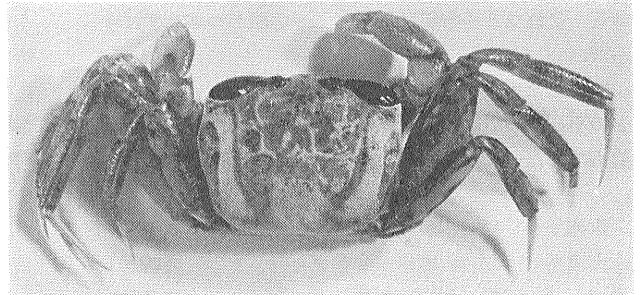
になる。海岸近くは 最初には 塩分に強い草が生えるようになり スコールが来て塩分を流した後で 木も生えるようになる。木が生えるようになれば クモ 小形のカタツムリ その他の小動物も棲むようになる。乾いた陸地が大きくなれば スコールが空気中の二酸化炭素を溶し 一時的にせよ小川が流れれば 陸地の侵蝕が開始することになる。これと前後して 島の中央部には石灰岩ができる所もあるが 風化して土壌を生ずる所もでき あるいは植物の根 または 穴を掘る動物の作用もあって 侵蝕が進んで池を生ずる。中央にある石灰質の部分は じだいに溶解し 石灰岩を残して 池が拡大して礁湖になり 礁湖は溶解して深くなって 外界にも通ずるようになる。

ムーレイは 60m以浅の浅海の平坦面に まず プラントンの遺骸が堆積するといったが 上の説明では平坦面には限定しなかった。また サンゴ礁が水面に達して周囲に拡り 乾いて陸地ができるとき 石灰岩の巨礫を運ぶともいった。これらの件を導入しないでも ムーレイの構想の大綱を変えることにはならないから この両件は ムーレイの説の難点を述べるときに扱うことにする。しかし 礁湖の成因に関する過程は 無理とは思われるが これ以外に解釈のしようがないからそのまま解説しておいた。

ムーレイは 裾礁が堡礁になる過程も 上に述べた環礁の成因と同じ原理が適用されると主張した。

ダーウィン・ムーレイの両説と試錐の結果

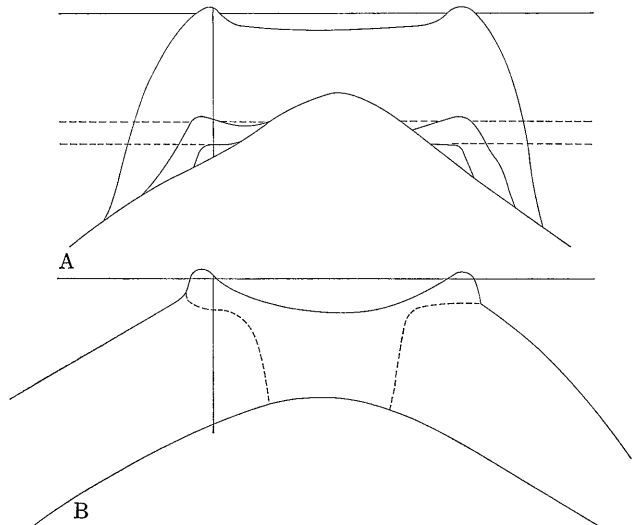
二人の説を批判するに先立ち 試錐の結果をどう解釈するかが 問題になる。もしも 試錐の結果石灰岩の石灰質の岩相が 100mも 200mも



第27図
 スナガニ *Ocyroda stimproni* Ortman
 海岸の砂を掘って巣穴とする

続いているならば ダーウィンの説で 容易に解釈できる。反対に 石灰質の地層は60m以内で その下は火山噴出物 あるいは固化した底質があるか 直接基盤の上に重なっていたならば ムーレイの説を支持する余地があるといってもよいのではなからうか (第28図)。

そこで 十九世紀の末期(1896~1898)に 太平洋の真中にあるエリス諸島(Ellice Is.)のフナフチ環礁(Funafuti Atoll)に 338mの試錐が行われた。エリス諸島は 東径 170° と 180° との間 つまり ニュージーランドの



第28図 ダーウィン④と ムーレイ⑤との 試錐の結果の解釈の相異を示す図

東端の北方にあたり 緯度は南緯 5°ないし10°で ニュージーニア および ソロモン群島の東方に当る。何回かの困難を押し切って 338mの試錐に成功し 深部を除いたほとんどが サンゴ石灰岩であり 深部には他の岩質も混合していたことが明らかになった。

ここでダーウィン側に軍配を上げる前に ムーレイ側の反論にも耳を借さなければならぬ。ムーレイとその支持者等は このボーリングがサンゴ礁を貫いたのではなく サンゴ礁の周辺に位置する サンゴ礁の一角から供給された石灰質の物質が堆積したものだとして主張したから それなりの解釈によって 一応顔がつぶれずにすんだ。

しかしながら その後のどの試錐にも 厚い石灰岩などの石灰質の岩層の存在が明らかになり ムーレイの反論も しだいに旗色が悪くなってきた。

本邦でも 1934年から1936年にかけて 東北大学で 北大東島に 431m のボーリングを行った。当時としては サンゴ礁の解明に世界最深であったが 基盤には到達しなかった。しかし 表土の下はサンゴ礁石灰岩ばかりではなく まだムーレイ説を主張する余地がないわけではなかった。

戦後になって 水爆実験に関連して サンゴ礁の深層試錐が行われた。1947年に歌に出てくるマーシャル群島 (Marshall Is.) のビキニ環礁 (Bikini Atoll) 1951~1952年にビキニ環礁の近くのエニウェトック環礁 (Eniwetok Atoll) で試掘が行われた。1964年には フランスが水爆実験をしたツアモツ諸島 (Touamotou Is.) のムルロア環礁 (Mururoa Atoll) と 米国がミッドウェー諸島 (Midway Is.) でも深層試錐を行い どこでも石灰岩が数百mは続くことが解った。しかもこの中で エ

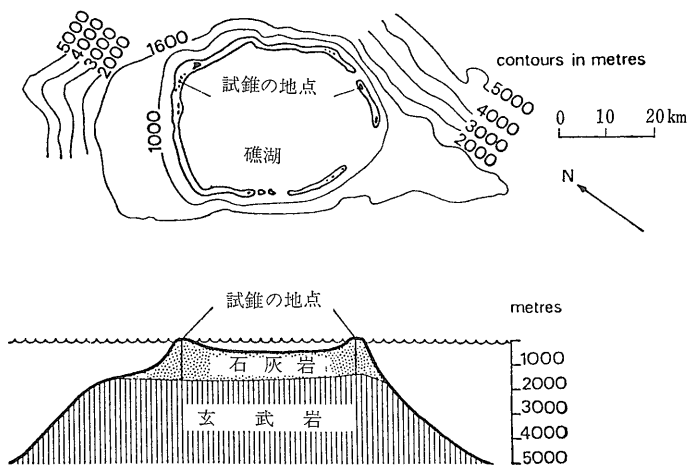
ニウェトック環礁では 1265mおよび1405mまで 石灰質の岩想が続いていることが明らかになった (第29図)。

そこでムーレイの反論が成立する余地があるかどうかを検討してみた。ムーレイのいう サンゴ礁の周辺で形成する石灰質の底質が 1000m以上堆積する可能性から検討しなければならない。

ムーレイは 60m以浅の平坦面からサンゴ礁が形成するといった以上 上に掲げたラッドの1500~1800mの海底の平坦面を予想する図 (第28図)を改めなければならなくなる。この件は2本の試錐の間には 少なくとも60mよりも浅い所にまで 玄武岩 または (玄武岩の上に重なる) 基底があり その上にサンゴ礁を生じ そこから石灰質の底質が落ちこんで堆積したと考えることが可能かどうかという問題におきかえることができる。そうなれば 最初に海表に露出した位置をどこに置くかが問題だが この環礁はかなり円に近いので 円の中心に近かったことを仮定して検討してみた。

もう一つの仮定が必要になる。底質は急傾斜には堆積しないから 海底にどの程度の傾斜があったかが問題になる。海底火山ならば水平に近い傾斜を予測するよりも 少しは傾いていたと考えることは当然ではあるが 数百m あるいは 千数百mも底質が落ちこむほど傾斜が急ならば 莫大な石灰質の底質が形成することになる。むしろ あまり地すべりを生じなかった程度の傾斜と考えたほうが自然である。

ここで 海底地すべりを起こす角度についてふれておくことにする。一般に 30度くらいで地すべりを生ずるようにならされているが 底質の種類によっても 底質の重量 形 摩擦係数との関係で 一定はしていないようである。たとえば ピンポン玉くらいの表面がすべすべした球形の礫と 同じくらいの大きさでも表面がでこぼこの礫とを ガラスの板にのせて ガラス板に傾斜をつければ 前者は少しの傾斜でもころがってゆくが 後者はもっと傾斜するまで動かないことも説明するまでもない。ガラス板の上に10mm以上の厚さの砂を置きその上で両者を比較すれば 平滑なほうの礫は直接ガラス板の上にのせるよりは少し安定するが でこぼこの礫ではあまり変わらないことが解る。礫の重量と形と摩擦係数とが地すべりに関係あることは上の例で明白であろうし 石灰質の底質の表面は 平滑であるものはごく少数であるから ころがりにくい部類に属する。



第29図 エニウェトック環礁の試錐の位置 (上図) と推定断面図 (エメリー等)

これとは別に ある程度の傾斜があれば 砂礫層の一部が崩壊することは事実だから 海底地形とも関係があることである。

海底地すべりがおこる角度は 底質の種類によっても一定してはいないようだが 大体30度くらいといわれており ダーウィンも一般には30度くらいで地すべりをすることを承知していながら かなりの角度といっていることは 30度より若干大きい角度を予想したように思われる。さらに 石灰質の底質でも 必ずしも 地すべりをおこす角度が一定しているとは限らない。

そこで島の中心から試錐地点までの距離と 試錐の基盤の深さから60mを引いた深さから 正切 ($\tan \theta$) を測り θ が30度を超すかどうかを検討してみた (第30図)。その60mとは サンゴ礁が生育する下限であって 実際にはもっと浅いと考えられることは ムーレイの紹介の項でも述べた。

エニウェトック環礁の断面図はラッド H. S. Ladd 等が二本の試錐に基づいて示したが玄武岩の頂上が必ずしも平坦でなければならぬとは思われないから ムーレイ説に合うように その図を基盤が60mで浅くなるように改めた (第31図)。もしも θ の値が30度を超えるならば 海底地すべりを生じて 堆積物が安定しないと仮定しておく。島の中心をAとするが 地表を A_1 地下60mを A_2 とし 試錐地点Bにおける地表を B_1 地下60mを B_2 石灰質の岩石の下限を B_3 とすれば $B_2 A_2 B_3$ の作る角を θ として AB の距離と B_2 から B_3 までの間隔を計って $\tan \theta$ を計算し $\tan 30^\circ$ つまり約0.577と比べて著しい差があるかどうかを試してみることで 厳密なことをいわなければ 一応のめやすになる。エニウェトック環礁ではAとBとの間隔は約 12.5 マイル (=20,000m) あるから 深いほうの1405mでも $\tan \theta$ の値は約0.0673となり 海底地すべりに関してムーレイの反論を否認するには至らないようである。ただしこの値だけでムーレイの説が成立するというわけではなく他の条件については後に述べることにする。

ダーウィンの説の難点 ダーウィンの説も ムーレイ

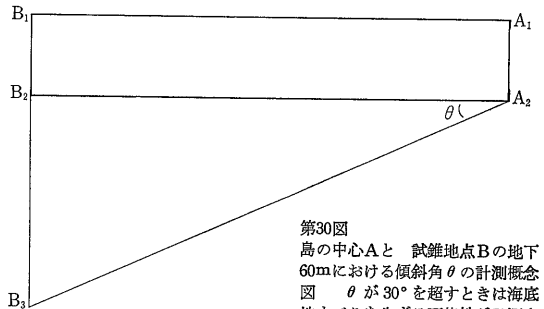
の説も 紹介するときは なるべく難点はそのまま伏せておいて 原著者の構想を尊重しながら 述べた。

先回述べたダーウィンの説ならば どの本にもといえるくらい 紹介されているが ムーレイの説は あまり紹介されていない。いずれにせよ 今回は 遠慮なしに弱点を衝くことにする。

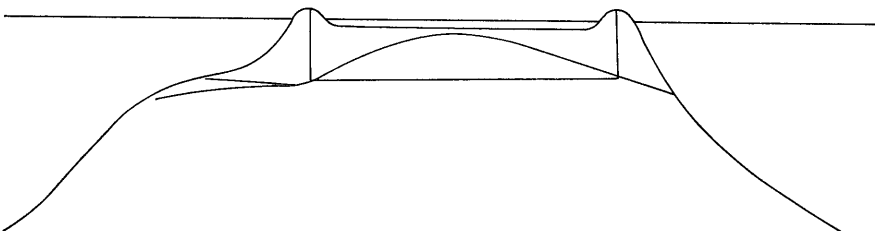
ダーウィンという人は 最近話題になるプレートを考えたわけではないが たとえば アルプスからヒマラヤにかけて海底だった所が隆起するような 大きいスケールの構造運動を考えた。当時 北極と南極との氷が全部溶けたら海面はどのくらい上昇するかというセンスはなかった。したがって マクロのスケールで陸地が上昇することを前提に オーストラリアくらいの陸地が海底から上昇すれば 世界各地に海進が生ずるように考えた。

海進の結果 暖流が強くなって極地の氷を溶してさらに海面を高めるとか 逆に隆起が暖流の流向を妨げて 高緯度に行かなくなって 極地の氷が増加することもある。また 砂漠に海水が進入して 地下水になることもある。両極の氷が全部溶けたり あるいはサハラ砂漠が水びたしになるか アマゾンのような密森にでもなれば 世界的規模で気圧配置が変り その結果 海流の流向も変ると思われるが この問題はサンゴ礁の成因論と直接関係がないから これ以上深入りすることはやめておく。

ダーウィンが ビーグル号に乗ってから今日まで 約一世紀半を経過し その間に 航空機で旅行できるようになり 宇宙ロケットが飛び アクアラングで直接サン



第30図 島の中心Aと 試錐地点Bの地下60mにおける傾斜角 θ の計測概念図 θ が 30° を超すときは海底地すべりを生ずる可能性が予測される



第31図

改訂したエニウェトック環礁の推定断面図

ゴ礁の生態が観察できるほど 科学が進歩したのだから
ダーウィン時代の乏しい知識で纏めた推理が 当時として
は画期的な研究であったにしても 現在そのまま通用
するとは限らない。しかし 現在でも ダーウィンの
説を ほとんどそのまま無批判に 支持する人がいるこ
とは事実である。

ダーウィンのように マクロのスケールで海面の上昇
を考えて 裾礁が堡礁に発展し さらに 環礁になって
ゆくという考えかたをすれば 同じ地域に 裾礁も 堡
礁も 環礁もある例を どう説明するか。少なくとも
マクロのスケールでの海面の上昇に関係づけたサンゴ礁
の成因論では どうもすっきりしないように感じられる。

たとえば パラオ諸島 (Palao Is.) を例にあげれば (第
32図) 北部にはカジャンガル環礁 (Kajangur Atoll) が
あり パラオ本島 (バベルダオブ島 Babeldaob Is.) からペ
リリュウ島 (Peliliu Is.) にかけての列島の西側には
堡礁が発達しているが パラオ本島の東側の中北部には
裾礁がありながら 南部には堡礁がみられる。また
その島からペリリュウ島までには 不完全に 堡礁がで
きていて 準堡礁といったら良いようである。ダーウ
インもこのような例を知っていながら パラオ諸島を堡

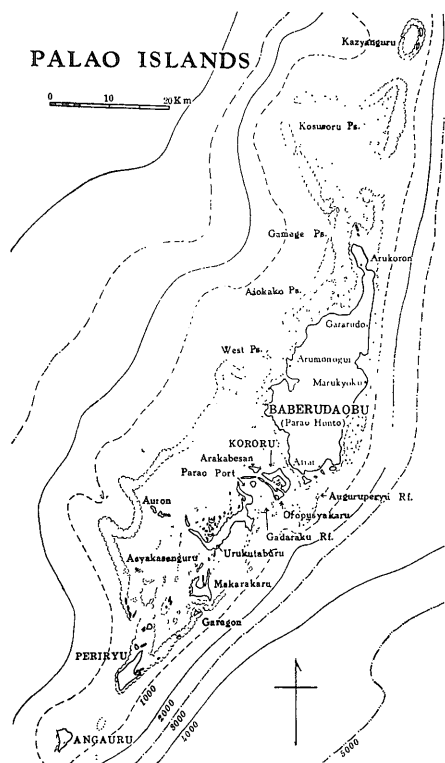
礁に分類したが この論理に矛盾を感じる者は筆者ばかり
ではあるまい。

パラオの場合は 東側がやや急深になっていて 西側
が遠浅になっていることに関係があるようで 東側でも
少し遠浅になっている所には 堡礁や準堡礁の発達が認め
られる。パラオ諸島には偏東風が吹き 毎年11月か
ら4月までは 風向が一定しているといわれている。
しかし パラオ諸島が いかに偏東風の影響を受けると
はいえ 風の影響が1000mも2000mもの深海に及ぶとは
とても考えられない。1000m以深でも東側が西側より
急深になっていることは事実で 大陸の大河の河口の近
くならばともかく パラオ諸島のような洋上の孤島の周
囲の1000m以深が 遠浅であるか 急深であるかの相異
は 地殻運動に関連を求めべきである。

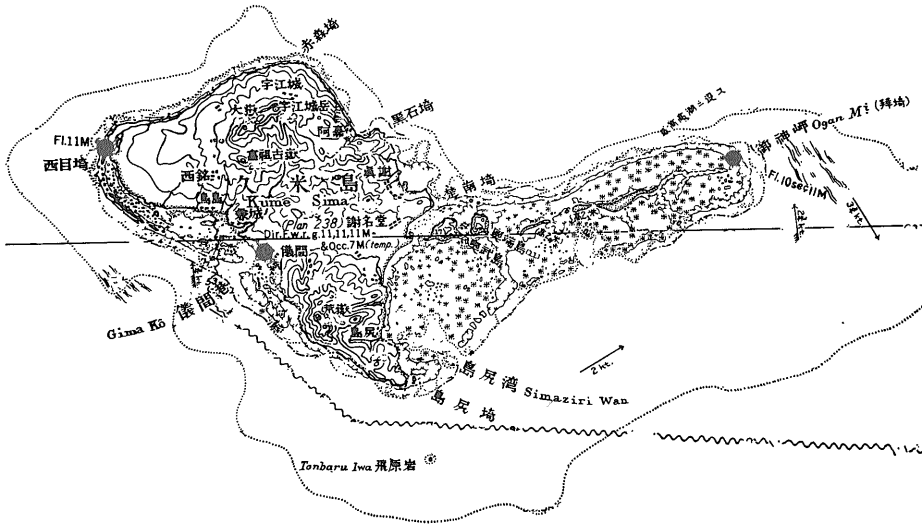
ダーウィンは 世界的規模での海面の上昇を頭に画い
ていたから 海図を丹念に集めて 世界地図に 裾礁地
域と 堡礁・環礁地域とに色分けをして パラオ諸島を
堡礁・環礁地域に含めた。

彼は琉球列島に関して あまり良い海図を入手できな
かったようだが この地方は 裾礁地域の色を付けた。
ところが 沖縄県の久米島も 裾礁と堡礁とが組み合せ
になっている (第33図)。島の東北部から北部を経て西
端の西銘崎までと南端の周辺とは 裾礁が発達している。
西端から東南に向って堡礁がある。これとは著しく相
異して島の東の楚南崎から東に向って“つ”という文字
の形をした堡礁が延びているが この堡礁の南側は飛び
石のように礁が並び 島の南端の島尻崎から張り出す岬
の延長に至る。ところが 楚南崎の東南には奥武島と
奥端島とがあり この両島は久米島とは礁原で続いてい
て 奥端島の南部から 東北東と南とに礁原が延びてい
る。東北東に延びる礁原の延長は 低潮時高さ2m強
の砂洲で 南に向って二条の枝を出す。その東側の枝
が 楚南崎からつ字形に延びる堡礁に連続するもので
ある。つまり 久米島の東部には 北側で連続し 南
側で飛び石状になる堡礁があり 中央には 二島と東北
東に向う砂洲があり 部分的には準堡礁のようになって
いて 島の北側や最南端の裾礁とは著しく相異なるタイ
プである。この事実から 久米島は 裾礁と堡礁との
組み合わせだといえる島である。ダーウィンは この事
実は知らなかったようで 沖縄の周辺は単に裾礁地域に
編入したがどうも賛成しかねる。

ダーウィンのように 世界的規模で海面の水準が変化
して 裾礁から環礁にまで発展するという考えかたをす
るならば 同じ島には 裾礁か堡礁か環礁か どれか一つ
しかないと考えることが 彼の説に忠実な解釈ではなか



第32図 パラオ諸島(弘 1936)



第33図
久米島
(水路部海図第226号より)

ろうか。しかしもう少し考えかたを拡げてある島のある部分だけが隆起または沈降する可能性も考えられないわけではない。

たとえば伊豆七島に明神礁が海面から顔を出してまた水中に没したり小笠原諸島に西之島新島が生まれて西之島に連続したようにダーウィンが考えた世界的規模とは違ってミクロのスケールでの地形の変心も問題になりうる。これとは別の例で江戸時代のオランダの海図にあった宮古島の南方の島は現在では海底下にある。

もしもパラオ諸島や久米島で裾礁のある部分だけが少なくとも相対的に隆起し堡礁の部分が沈降したと考えられれば解釈は容易である。しかしながらパラオ諸島の場合新期の火山活動の結果であるとも考えられず幾つかの断層の存在で説明できるわけでもないからまた別の解釈が求められることになる。

久米島やパラオ諸島よりもっと簡単な例でダーウィンが図まで出したプイニペーテ島(Pouynipete Is.)はほとんどが堡礁から成るが東南と北とが裾礁になっている。この程度の堡礁ならば例外的に存在する裾礁を無視してこの島は堡礁の島だといってもあまり異論は出ないのではなからうか。

そこでダーウィンの構想に海底地形の問題で修正を行ってみた。海底地形にも遠浅の所と急深の所とを考慮に入れる件である。裾礁が堡礁になる段階で急深であるために外側へは延びられず沈降があってもただ上に延びるだけで裾礁が堡礁に発展する機会に恵まれないことがあってもよからう。裾礁が沖に向

て延びるといっても逆の円錐形あるいは成熟したキノコのような形に発達することはむづかしい。熱帯の海岸の草で述べるがサンゴ礁のサンゴが繁栄する所10~20mのすぐ先に50m以上の垂直に近い断崖がある所があり地層にも堆積当時このような崖であったのではないかと思われる露頭もある。つまり外側に延びやすい地形と延びることが難しい地形とがあれば堡礁の一部に堡礁には発展できない裾礁が存在することがあってもよいのではなからうか。プイニペーテ島もパラオ諸島もこのように説明すれば一応の解釈が成り立ちはしないだろうか。また先回述べた水納島の礁原が北西にばかりよく延長する件についてもこのように説明されるのではないかと思う。

ダーウィンのようにマクロのスケールでの海面の上昇を考えるならば海洋の孤島では裾礁が堡礁になりさらに環礁になることは先回説明したとおりであるが大陸の沿岸ならば堡礁で終って環礁には発達しないはずではなからうか。しかし現に陸棚上にも環礁が存在する。この点については最後に述べるデーリーによる改訂を導入しないと解決できない。

後で述べるが氷河時代の氷期と間氷期とで海面が上下したことは新しいセンスであってダーウィンはよく知らなかったがこれとは別にインドネシア西部の更新世後期については次の事実がある。コーニヒスワルド(Koenigswald)は1935年に更新世つまりギュンツミンデルリスウエルムの時代を哺乳類の化石からジェーティス(Djetis)トリニール(Trinil)

ンガンドウン (Ngandoeng) の三階に分けた。最下部のジェーティス階は浅海相 中部のジャワ原人 (*Pithecantropus erectus*) で有名なトリニール階は海岸の相 最上部のンガンドウン階は陸成相を示し完新世に入ってから海進がみられた。この最後のンガンドウン階にジャワ島もバリ島も大陸に連続し バリ島とロンボック島の間からカリマンタン (ボルネオ) 島とスラウェシ (セレベス) 島との間には 当時のアジア大陸の東南縁に当る海岸が位置していたが この南北の海峡を結んだ生物地理学上の分布境界線をワーレス線といって 生物学者の間にはよく知られている。このワーレス線についても ダーウィンが 若手のワーレス A. R. Wallace に花を持たせた経緯があるが この件は本著では割愛する。

この例は 後で述べる氷河時代の氷期と間氷期との海水準の変化とは関係がない陸地の上昇で ダーウィンの構想に近い例で このような古地理の復原により 海面がどうなっていたか 海流がどう流れていたか などこのような構想でサンゴ礁の成因説を検討することが望ましい。少なくともダーウィン時代には インドネシア地方の地質も 化石も ほとんど知られていなかったことは事実で ダーウィンにこの種のことを期待することはできない。

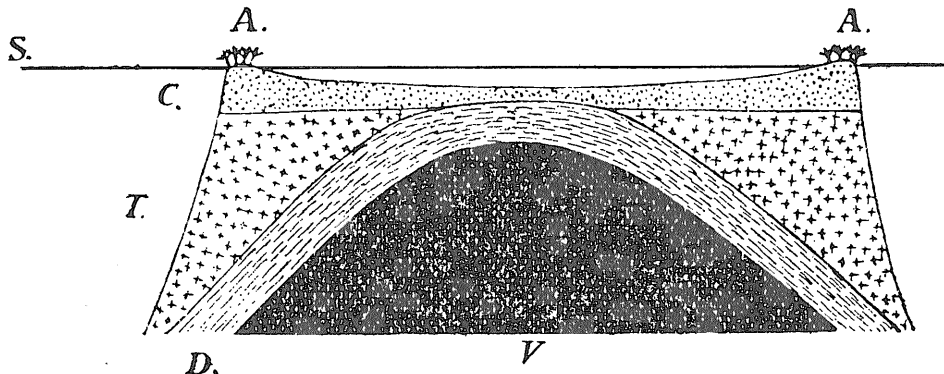
以上述べてきたように ダーウィンのような考えかたをしては説明できないことが少なくないが 拡大解釈をしてやっとなら説明できることもあれば 後で述べるデーリーによる改訂がなければ 説明できないこともある。ただ 硯礁から堡礁を経て環礁になる基本的な構想は 現在でも支持する者が少なくない。

ムーレイの説の難点 ムーレイの説では 60m以浅の浅海の平坦面に まず プランクトンの遺骸が堆積するといったが 浅海の平坦面ならば 流線が収斂する

から 岩盤が露出すると考えたほうが自然である。もちろん平坦面といっても少しい高い所と 少し低い所とがあつて 急潮でもなければ 底質が堆積できる場所もありうることである。しかし サンゴが生える所は高くなった岩盤の上が普通であり プランクトンの遺骸などの岩盤でない堆積物の上にたまるように考えることは不自然である。したがって ムーレイの説の大綱を変えずに説明できた。

次に サンゴ礁が 上に向って延びることは容認されても 陸地になってから 中央から侵蝕が進むという構想は 行き過ぎではなからうか。陸地ができ 空気中の二酸化炭素を溶かしたスコールが降れば 少しは侵蝕も進行しよう。しかし沼になり 礁湖になるほど大規模な侵蝕が 果して 存在するだろうか。礁湖は 深くなってゆくより ダーウィンの考えたように 浅くなってゆくほうが 妥当性が高いのではなからうか。この件については 熱帯地方の海岸の章でキノコ岩の成因について詳しく述べるが 石灰岩が露出している海岸では 石灰岩が侵蝕を受けており これと混同したかの如き観がある。潮間帯の石灰岩が いかに侵蝕されてもそれが礁湖を形成するほど 強力に侵蝕が行われるという構想を支持する者は現代にはいないようである。

また 中央に礁湖ができるとき 石灰岩の巨礫を運ぶともいった。この件も キノコ岩のくびれ落ちたものを混同したのではなからうか。筆者は ヤップ島でもモルヂブ諸島のマレ島でも 潮が引いてやっとなるあたりに 石灰岩の巨礫をみている。この巨礫に関する解説も キノコ岩の項で述べるが その際 ふたたび この件についてはムーレイのように考えないでも説明ができることを解説する。いずれにせよ ムーレイは キノコ岩の侵蝕と サンゴ礁の成因とを誤って結びつけたようである。



第34図 ムーレイによる環礁の成因を示す概念図 (ヨング 1930)
 A: 環礁の環 C: サンゴ礁 D: 海底の堆積物の層 S: 海面 T: サンゴの破片の堆積した底質 V: 火山作用により生じた基盤

次に ヨング (C. M. Yonge) は オーストラリアの大堡礁 (Great Barrier Reef) の探検報告に ムーレイの説を紹介し その際第34図で説明した。その図の海底の台地の上は 底質の層が重なるように画いたが 堆の上では基盤が露出するか 少しばかりの底質が散見する程度のほうがよいことは 上に述べたとおりである。ヨング自身もどうかと思ったためかラッセル (F. S. Russell) と共著で海洋 (The Seas) を書いた時 図を改めた。新しい図では 底質の層が沖に向かって少しずつ薄くなる傾向を示した。筆者は もっとはっきり沖に向かって薄くなることを想定した (第35図)。

ムーレイの説の注目すべき点として サンゴ礁が上に向かって拡がることである。底質の上にサンゴ礁が拡がることになるが サンゴ礁の側面には上から下まで生きたサンゴ虫が並んでいるわけではなく 生きたサンゴ虫は直接底質に接するわけでもなく 波が立って底質が浮き上ったり また積ったりするうちに 下のほうから埋没してゆくことになる。この点については やや不自然のような観があるが 必ずしも難点とまではいえないようである。

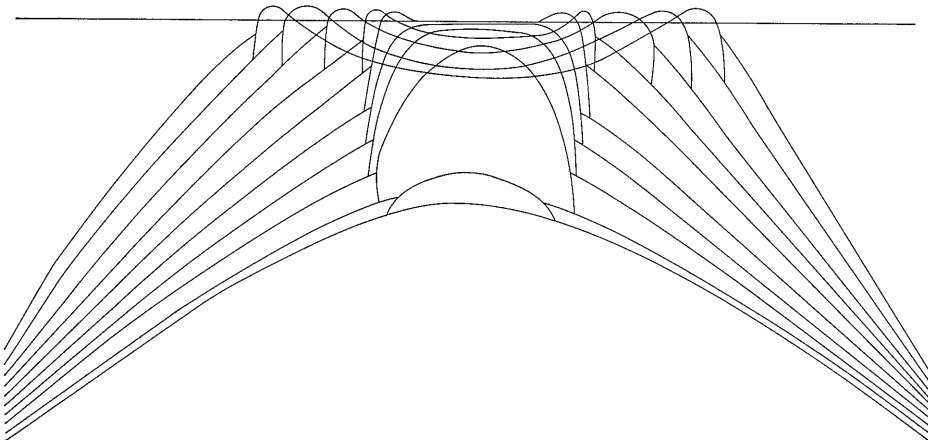
試錐の結果の反論で 初期のサンゴ礁の周辺で形成した石灰質の底質は あまり傾斜した斜面では安定した堆積をせず ある程度堆積しては地すべりで深みに落ちまたある程度たまってまた地すべりを生ずることになるから ゆるく傾斜した斜面に堆積すると考えるほうが自然である。絶海の孤島には ゆるく傾斜しているよりも やや急に傾いていると考えることが自然で ゆるい傾斜が容認できるかどうかは別として ダーウィンもかなり急傾斜がありうることを述べているので この点に関する限り ムーレイとあまり見解が相異しないようである。しかし第35図は垂直のスケールを水平のスケー

ルの約10倍に画いたもので このほうが読者に解りやすいと思われた。ただし ムーレイは海底地すべりの有無に関してふれなかったから 海底地すべりを前提にした議論を進められないことはないが 何度も海底地すべりをしたのは 海表に露出してから周囲に拡がるのが困難にまではならなくとも 地すべりして減った分だけ遅くなるから あまり何度も地すべりしなかったと考えるほうが 彼の説にマッチする。

もう一つの問題は エニウェトック環礁で 環礁の中心が最初に海表に達したことを仮定したことは 上に述べ 傾斜を計算して海底地すべりを考えないでもよさそうだと述べたが 1000m以上の石灰質の岩相を形成するには ダーウィンのように生物体が石灰質の骨骼を延ばすと考えるほうが ムーレイのいうように 石灰質の底質を堆積すると考えるよりも 確率が高そうである。ただし エニウェトック環礁の石灰質の岩相には 始新統もあれば 中新統もある。したがって 第四紀に限定する限り 石灰質の岩相は約 200m で 傾斜が急すぎる心配はないといえよう。

試錐の結果に限らず ダーウィンの説では 海面の上昇を前提とする限り 成因説の容認が容易であるのに反し ムーレイの説では ぎこちない仮定が多すぎるようである。特に 次に述べるデーリーによるダーウィンの説の改訂で ほとんど問題がなくなったといえそうなくらいに批判者の支持はダーウィンの説に傾き ムーレイの説はしだいに影が薄くなってきた。

デーリーによるダーウィンの説の改訂 デーリー (R. Daly) は 氷期と間氷期とで 海面が変ることと ダーウィンの構想によるサンゴ礁の成因論とを結びつけ



第35図 ムーレイによる環礁成因 (筆者原図)

た。ダーウィンは マクロのスケールでの構造運動を前提に 沈降によるサンゴ礁の成因論を主張したが デーリーは 氷期には極地の氷が増加して海面が下り 間氷期には極地の氷がとけて 海面が上昇することと これに伴うサンゴ礁の発展とを結びつけて解釈した。つまり ダーウィン説を改訂したわけであって ダーウィンの説を 沈降説 というならば デーリーの説は 氷河制約説 といわれることになる。

ある寒冷な時期に ある岩礁に裾礁ができ 地形の上で無理でなければ周囲に向って広がるが 温暖な時期に変るにつれて 水面が上昇し これに伴って こんどは上に向って延びることになる。急深で裾礁が拡大できない所は そのまま裾礁として残るが 周囲に拡った所では 上に向って延びれば 準堡礁なり 堡礁なりになって 礁湖ができることになる。その礁湖を埋めるほど堆積物の著しい供給があれば 礁湖は埋って裾礁と同様になることがありうるが ごく稀に見られる例外と考えるべきであろう。たとえば 近くに活火山があり 火山弾や火山灰や軽石を多量に供給するとか 雨が多い上 軟弱の地盤が後背地にあつて 少しの雨でも多くの土砂を流し込むとか ということはあるまいではなからうが特殊な例外であつて 一般には 礁湖が埋るほどの堆積物の供給がないと考えられる。そこで 礁湖ができてからさらに水面が上昇すれば 準環礁 あるいは環礁に発達することもありそうである。

逆に 両極地方の氷が増加する氷期に向えば 今まで水面のすぐ下にあつたサンゴ礁は空气中に露出し 造礁サンゴの幼生が海中にいれば 新しい水面の少し下に棲みつくことになる。そして 露出したサンゴ礁は二次的な化学沈澱と相まって いずれは石灰岩になることになり サンゴ礁の周辺の主として生物の遺骸から成る砂礫は まず石灰質砂礫層に 後にはこれも石灰岩になる。

そして 空気中の二酸化炭素を溶解した雨水 または雨水が地下に流れこんだ地下水により 多かれ少かれ侵蝕を受けてゆく。長い時間を経過した後鐘乳洞ができることもありうる。

海水面が上昇したり 低下したりすれば それに伴つてサンゴ礁の垂直的にみた位置も変るわけで 石灰岩の上に造礁サンゴが生え それが次の氷期にまた石灰岩になる粗材になるわけで 四回 または 五回の氷期によつて 造礁サンゴが生じたり 遺骸となつたりくり返しが行われたわけである。

このように 氷期と間氷期との海水準の相異を考慮に入れば パラオ諸島の北側に環礁があつても 環礁が成立した時期は パラオ本島からペリリウ島へかけての堡礁ができた時期より古い氷期ないし間氷期にできたと考えれば ダーウィンの考えかたと少し違つて 一応の説明がつくのではなからうか。

さらに 小笠原母島の石門山という山の中に 海岸のしぶきが当る所に棲むヘソカドガイ属 (*Paludinella*) に近縁のキバオカチグサ (*Conacmella vagans* THEILLE) を産するが 石門山に限らず他の小笠原島の石灰岩の周辺に海岸植物もいると聞いた。これらも もともとは海岸に棲み 石灰岩が山の奥に取り残されても 絶滅せずに残つた残留生物の一例と考えられるようである。

キバオカチグサなどが残留生物になる背景を デーリーの考える氷期と間氷期とで海岸線が変化し 海岸近くにあつた石灰質の岩が 海退によつて山の中に位置し 周囲には火山灰などの風成堆積物が積つても 石灰岩が残在する限りこれと共に今後も生息し続けることであろう。

以上のように デーリーによるダーウィンの説の改訂により サンゴ礁の成因論は容認しやすくなり 今日でも多くの人によつて支持されている。

〔49頁下段からつづく〕

2) 紅海の火山島

GASS, I.G., MALLICK, D.I.J., & COX, K.G., 1973. Volcanic islands of the Red Sea. Jour. Geol. Soc. Lond., v. 129, p. 275-310.

SCHILLING, J.G., 1969. Red Sea origin: Rare earth evidence. Science, v. 165, p. 1357-1360.

3) 内陸部の火山岩

BAKER, P.E., BROSSET, R., GASS, I.G. & NEARY, C.R., 1973. Jebel al Abyad: a recent alkalic volcanic complex in western Saudi Arabia. Lithos, v. 6, p. 291-314.

AL TAF, A., 1977. Data in MSc thesis. (私信) ハラット・ラハット.

TAKAHASHI, K., 1976. 未公表データ ハラット・キシユブ. IAG-Open file. ジェッダ・サウジ・アラビア.

(6) 東アフリカ地溝帯・エチオピア・アファー低地の火山岩 KING, B.C. & CHAPMAN, G.R., 1972. Volcanism of the Kenya rift valley. Phil. Trans. Roy. Soc. Lond., A, v. 271, p. 185-208.

MOHR, P.A., 1970. (前出)

MOHR, P.A., 1971. Ethiopian rift and plateaus: Some volcanic petrochemical differences. J. Geophys. Res. v. 76, p. 1967-1984.

PILGER, A. & RÖSLER, A. edited., 1975. Afar Depression of Ethiopia. Stuttgart, 416 p.