

木庭元晴 関西大学助教授

ダーウィンとサンゴ礁

ダーウィンというひと

チャールズ・ダーウィンといえば、「種の起源」や「ビーグル号航海記」をあらわした人として知られています。一八三一年二月二七日に始まり一八三六年一〇月二日におわるほぼ五年間のビーグル号の航海に、ダーウィンは無給の博物学者として乗り込みました。ダーウィンは一八〇九年二月一二日に生まれましたから、二十二歳の時です。当時二等海尉であり後に海軍大将になったサー・ジェームズ・サリバンは、後年次のように述べています。「ビーグル号の航海中、ダーウィンは他の乗員たちと非常によく気があった。誰もが彼を好いた。彼は、はにかみ屋だったが何でも知りたがった。乗員たちは彼のことを親しみを込めて「うちの知りたがり屋さん」と呼んでいた」。さらに「ダーウィンが怒ったのを一度も知らないし、誰かに向かつて思いやりのない言葉や軽率な言葉を吐いたのを聞いたこともない。このためと、彼のエネルギーと能力に敬服したために、我々は彼を『哲学者さん』というあだ名で呼ぶようになった」と。

ビーグル号は一八三一年二月一〇日に出港したのですが、悪天候で戻らざるをえませんでした。さらに二月二日も同じでした。ダーウィンは二度とも激しい船酔いにかかりました。フイツロイ艦長が出港前に、途中下船してもよいと言っていたのですが、五年間船酔いと闘い通し

ました。ダーウィンは下船後一度だけビーグル号に会いましたが、一八三七年五月の手紙に次のように書いています。「船酔いさえなかつたら、再び出港することに何の異議もないのですが……」

アンデス騎馬旅行中の一八三五年三月二五日の晩、ダーウィンは体長一センチほどのベンチュウカ(大型の黒いナンキンムシ)の攻撃をうけました。彼はこの一匹を捕まえて飼い、何カ月もの間それを調べました。テーパールの上において指を前に出すと、「このずうずうしい虫はすぐその吸盤をつき出して……血を吸い取る。血を吸う仕事の最中、その体を見ていると不思議である」とダーウィンは「航海記」で述べています。彼の死後二十五年以上たって、この虫はシヤガス病の媒介者であることが判明したのですが、この病気の症状とダーウィンの後半生の病歴とは非常によく一致しているといわれます。彼の息子フランシスは父親を回想して次のように書いています。「四十年近い間、父は一日といえども通常人程度に健康であったことはなかった。父の生涯は、病気による疲労と緊張に対する長い闘いであった」。ダーウィンは自伝のなかで「私は二十四時間のうち幾時間も不快感なしに過ごせたことは、一度たりともなかった」と述べています。

下船後、体を壊したために、これ以降イギリスを出ることがなく、そしてビーグル号の航海の観察を契機にして「種の起源」や、この文のテーマであるサンゴ礁形成説が産まれるのですから、ダーウィンが自伝で「ビーグル号の航海は自分の一生をつうじて、異論なく最も重要な出来事であり、自分の全生涯を決定したものである」というのも納得できます。

ダーウィン説といえば、ダーウィンが唱えた進化論を意味するのが普通なのですが、もう一つ

のダーウィン説があります。これは進化論に比べて現在、一般の人々にはほとんど知られていません。ダーウィンの著作の邦訳やダーウィン論は数多いのですが、その訳者や著者は生物学とつながりのある人たちで、このもう一つのダーウィン説、すなわちサンゴ礁形成説は正しく伝えられてこなかったといえます。ところがダーウィンの最初の著作「ビーグル号航海記」(初版、一八三九年に公文書の形で刊行)では、サンゴ礁のでき方について多大の紙面と労力がさかれ、またこの部分が最もよくまとまっているのです。一八四五年に、ダーウィンは、初版の「内容を大いに改め、若干の部分を訂正し、あるいは別に書き加え、一般の読み物としていっそう適当なものに」して、「訂正増補第二版」として独立に出版しました。これは科学者だけではなく、一般の人々にも好評を博しました。

ダーウィンとライエル

ビーグル号は二四二トン、全長わずか二七メートルの帆船で、ダーウィンが足を伸ばして寝るのに衣服戸棚からひきだしを一つ抜かなければならなかったほどですから、積み込む本は限定されてきました。ダーウィンが選んだ本は、ミルトンの詩集、フンボルト、聖書、そして出版されただけのチャールズ・ライエルの「地質学原理」第一巻でした。エジンバラ大学在学中にジェームスン教授の地質学と動物学に関する講義を聴いて、「この講義によって、生きている限り絶対に地質に関する本を開かぬこと、つまり金輪際この学科は勉強しないことを決意した」とダーウ

ィンは言っています。この彼に地質学の勉強を始めるように勧め、地質学の教授セジックを紹介し、ビーグル号への乗船を勧め、「地質学原理」第一巻を提供したのはケンブリッジ大学での指導教授ヘンズローでした。ダーウィンは、「ヘンズロー教授と親しくしたことが、ほかの何にもまして自分の生涯を左右した」と言っています。ビーグル号での航海の直前に、ダーウィンはセジックの指導のもと、初めて系統的な地質調査を行なったのです。

ダーウィンは自伝で、ライエルについて次のように言っています。「地質学という科学がライエルに負うところは、今までの誰よりも大きいものがある。ビーグル号の航海に上ろうとするとき、ノアの大洪水のような大変動をほかの地質学者と同様にヘンズローは信じていたにもかかわらず、そのころ出たばかりの「地質学原理」第一巻を読むように勧めてくれた。しかしライエルがその中で提唱している学説は決して受け入れぬようにとの注意をうけた」

ダーウィンは出港して以来ひどい船酔いに悩まされていましたが、初めての碇泊地ヴェルデ岬諸島の主島サンタ・ハゴで火山の地質調査をしました。そしてライエルの学説がダーウィンの今まで知っていたものにくらべて、格段に優れていることを確信したのです。そしてこのサンタ・ハゴで火山周辺の陥没を発見し、踏査した諸地方の地質について本を出版するという夢を抱くようになります。その後、ダーウィンは航海中、何度も「地質学原理」を読むことになりました。

ダーウィンはビーグル号の航海から帰って、自分の新しいサンゴ礁形成説についてライエルに手紙を出しました。そしてそれがライエルの説を否定していたのにもかかわらず、ライエルは賞

讀で応えました。ライエルは天文学者ハーシエルに次のような手紙を送っています。「私はダーウインの新しいサンゴ礁形成説に大いに興味を感じました。……もはや私は永遠に火口基底説(後述します)を捨てなければなりません。……この火口基底説は多くの事実を説明できますから、捨てることはよほど辛いのですが……」

ライエルは、地質学会会長ヒューエルを動かして、公式の場でダーウインが発表できる機会を作りました。そして一八三七年五月三十一日に「サンゴ礁形成の研究から得られた太平洋とインド洋における隆起地域と沈降地域について」というテーマで発表されました。ダーウインはこれを本の形にまとめるのに、一九三九年一月二十九日の結婚をはさんだ一九四二年五月六日までかかりました。この頃は、一生を通じて最も体調の悪い時であったのですが、完成するのに二〇カ月の刻苦勉勵を要しました。太平洋の島々に関する文献を一つ一つ渉獵し、多くの地図を照合しました。こうして、ライエルの激励のもとに「サンゴ礁の構造と分布」、いわゆる「サンゴ礁」が世に出ることになります。

南アメリカでの地質調査

ダーウインは自伝で「自分の仕事の中で、『サンゴ礁』ほど演繹的な精神で始まったものはない。その所説の全体系を本物のサンゴ礁をまだ見ないうちに南アメリカの海岸で案出した。したがって、生きたサンゴ礁を綿密に調べて、自分の考えを裏づけし敷衍するだけでよかった。しか

し、これより前の二年間はたえず南アメリカの海岸に及ばず間歇的な陸地の隆起の影響と同時に、削剝と堆積の作用に注意を払ってきたことを、付言する必要がある」と言っています。そしてさらに、「このことは当然、自分に沈降作用の影響を十分考慮せしめる結果となり、堆積物の不断の沈没の代わりに、サンゴの上方への成長を想像することができた。その結果、私は堡礁と環礁の形成に関する説をなすに至ったのである」と続けています。前半の文章内容から後半の内容を類推することが果たして可能でしょうか。南アメリカの海岸でダーウインは、大洋底の沈降に基づくサンゴ礁形成説の全体系を考え出したとしていますが、サンゴ礁形成説を生み出すヒントが南アメリカにあったのでしょうか。

『ビーグル号航海記』は第二版(一八四五年)の後、一八六〇年にも「一博物学者の航海記」という形で出版されています。これでは第二版で行なわれたような大幅な修正増補はなく、三カ所わずかに新しい知見に基づいて修正されました。一八六〇年版の第二章「中部チリ」から第一章「北チリとペルー」の五〇六ページのうち、二五二ページから三七二ページにわたる部分で南アメリカ西海岸の地震と地殻変動についての記述があります。重要と思われる部分を拾ってみます。島地威雄氏の訳(岩波文庫)ですが、原典を参照してわかりやすいように変えてあります。

「一八三五年二月二〇日。この日はヴァルデイヴィア(チリ中南部海岸の都市)の年代記に記念されるべきものだった。住民の最長老も未だ経験しないような地震が生じたからである。

私はこのとき、海岸において、森の中で横になって休んでいた。地震はいきなり起こり、二分

間つづいた。その時間は実際より遙かに長く思われた。……ひどい地震は、われわれがずっと旧くから抱いていた連想を、一時に破壊し去る。確固たることの表象そのものであった大地が、われわれの脚下で、液体の表面をおおう薄い殻のように動揺したのである。……三月四日。コンセプション(ヴァルデヴィアから北へほぼ三五〇キロメートル)の港に入った。艦が碇泊場へと進退している間に、私はキリキナ島に上陸した。その領地の執事が二〇日の大地震の恐ろしい報知を私に知らせに馬で馳せつけた。「コンセプションにも、タルカフアノ(コンセプションの外港)にも、家屋は一軒も立っていないこと。七〇カ村がひどく壊されたこと。大浪がタルカフアノの廃墟をほとんど洗い流したこと」を。この後の方の証拠については、まもなく私も十分に見た。海岸一帯は千隻の船が難破したように、木材や家具が一面に散乱していた。……この島を巡って歩いている間に多くの岩石の断片が浜に高く打ち上げられているのを見た。それに付着している海産物を見ると、この岩は最近まで深い海底にあったものに違いなかった。……海浜が津波の圧倒的な力の跡をとどめているのと同じように、島そのものも地震の圧倒的な力をあきらかに示していた。……サンタ・マリア島では隆起の程度は一層大である。艦長フィツロイはある場所で、満潮線から一〇フィート(約三メートル)上方に、まだ岩についたまま腐敗しているイガイ属の層をみつけた。この貝を採るには普通、春の最も潮がひく時でも潜水する必要があった。いままでも幾度か兇暴な地震がこの地方であったことや、一〇〇〇フィート(約三〇〇メートル)の高さにまで莫大な数の貝殻が散在して

いることを思い合わせると、今回の隆起は特に興味がある。ヴァルパライソ(コンセプションの北約四五〇キロ、サンチアゴの外港)で、これと同じような貝殻が一三〇〇フィート(約四〇〇メートル)の高度にあることを前に述べておいた。この大規模な隆起は、今回のような地震に伴った上昇が度重なった結果であるとともに、この海岸のある部分に確かに進行しているところの、知覚しがたいほどの徐々とした上昇作用によるものであろう」

ダーウィンは現在の造山運動のダイナミックスを十分に理解しました。引用を続けます。

「海底の堆積物が隆起して海岸の激しい侵蝕を経てまもなく、相当な量のはるかに後代まで残存するためにはおそらく、その層の堆積はもともと広い範囲にわたるものであり、また著しく厚いものでなくてはならない。ところで、たいいていの生物の生存にとって好都合な唯一の場所は、中ぐらいの浅い海底である。つきつきと供給される堆積物が、このような海底で広い地域にわたって厚く受け入れられるためには、広い範囲にわたって海底が沈降する必要がある。一〇〇〇マイル(約一六〇〇キロ)隔たった南パタゴニアとチリでは、このような沈降がほぼ同時に起こったようである。したがって、大洋のサンゴ礁の研究を通じて私が強く信ずるようになったように、もし沈降運動がほとんど同時に広い地域でつづき……」

この部分は初版にはありません。第二版の五月一四日の分は旧版より一ページ半ほど付け足されています。ダーウィンは版を新たにするにあたって、付け足す必要を感じたのでしょうか。厚い浅海の堆積物が陸上に認められるならば、かつてその地域は沈降していたと考えてよい、と言っ

ているのです。次のものも初版にはありません。

「バタゴニアは隆起作用だけを受けたのではない。……フォルブス教授によれば、絶滅した第三紀の貝類は海面下四〇から二五〇フィート(約一二ないし七五メートル)までしか生息できない。その貝殻層が今では八〇〇ないし一〇〇〇フィート(約二四〇ないし三〇〇メートル)の厚さの海成層に覆われている。したがって、以前にこの貝類が生息していた海底は、数百フィート沈降したに違いない」

第二版にはこのように、生物の生息深度と堆積物の厚さから海底の沈降を導く、という論理過程が認められます。しかしながら初版には隆起に関する記載しか認められないようです。ただし、次のものは初版にもあります。

「一八三四年八月一日。……チリは地図でもわかるように、アンデス山脈と太平洋との間の細長い地域である。……間には平坦な盆地の幾つかが、つぎつぎに存在して……こうした盆地や平野は……昔は入り江や深い湾の底であって、南アメリカのほぼ最南端のフェゴ島や西海岸南部の、入り江や湾のようなものであっただろう。チリ中部・北部の昔の水陸の配置は、現在のフェゴ島や南部海岸に似ていたに相違ない。おりおり水平な霧の塊が外套をかぶせたようにこの地方の低い部分をおおうが、この時にこの類似がいちじるしく示された。白い水蒸気が谷々にうず巻いて漂い込むと、小さな入り江や湾の姿がみごとにあらわれた。ここかしこに孤立した丘が顔を出して、昔はそれが小島としてその場所に存在していたことを

示していた」

この部分の記述を端的に言えば、かつてのチリの中部・北部はフェゴ島などのような入り江の多い地形であったが、隆起して現在のような盆地群を持つようになった、ということです。しかしながら霧の侵入のくだりは、サンゴ礁の堡礁を想起させます。図2(一五九頁)の中段の堡礁の図を見て下さい。皆さんが高い山に登った時に眺められた雲海に浮かぶ山の風景に似ていませんか。島のまわりの環状のサンゴ礁は別にしまして、ダーウィンは霧の侵入を海水準の上昇、言い換えれば陸地の沈降に読み替えていたのではないのでしょうか。

この節の初めに提出しました問題、つまり南アメリカの地質調査によってサンゴ礁形成説が生まれ得るものなのか、を先の引用に基づいて考えてみます。ダーウィンは南アメリカで、多くのことを学びました。動くはずがない大地が揺れ、地震によって陸地がまさに現在でも隆起し続けていることを体験し、観察しました。現在の海岸にも生息する貝類の地層が数百メートルにも隆起していること、さらにかつての海面に応じて作られた平坦面が隆起して、現在何段もの海岸段丘が広域にわたって分布していることを観察しました。

しかしこのようなことは、ダーウィンが繰り返し読んできた「地質学原理」にすでに書いてあることである、といっても言いすぎではないと思います。ダーウィンは南アメリカでの地質調査を通じて、この本の記述の正しさを確認していった、といえるのではないのでしょうか。

「ビーグル号航海記」第二版の初めにこのような文があります。「この第二版を王立学会特別会員

チャールズ・ライエル氏に心から捧げます。この『ビーグル号航海記』や私の他の著作で見られる科学的成果の主要部分は、良く知られた、そして賞讃されるべき彼の『地質学原理』を研鑽することから生まれております。これに対する感謝の気持ちとして」

それではなぜ、ダーウィンの指導教官ともいえる『地質学原理』の環礁火山口基底説を、環礁もまだ見えないうちから、否定することができたのでしょうか。そしてダーウィン説を打ち立てることができたのでしょうか。

サンゴ礁への関心

南アメリカで調査中に、なぜダーウィンはサンゴ礁に関心を持ったのでしょうか。『ビーグル号航海記』の第一八章の冒頭を引用します。

「ガラパゴス群島の測量が終わったので、タヒチに向かって舵をとった。三二〇〇マイルの長い航程がはじまった。南アメリカ沿岸からはるかに続く雲の多い陰鬱な部分を、数日のうちに通り抜けた。われわれはそれから、輝く好天候を楽しみながら、絶えず吹く貿易風によって、一日に一五〇、あるいは一六〇マイルを快走した。これまでより太平洋の中心に近づいたこの区域の温度は、アメリカの沿岸付近より高い。後甲板の船室の温度計は、夜となく昼となく華氏八〇度から八三度（摂氏約二七ないし二八度）で、すこぶる心地よい。しかしそれより一ないし二度高くなると、炎熱は耐えがたくなる。われわれはロー群島、一名、危険

群島（ここにはサンゴ礁に起源をもつ低い島々しか分布せず、船がここで座礁する危険性があることから命名されたのだろう）を通過して、サンゴ虫によって造られた陸が輪形をなす、すこぶる珍しいものをいくつも見つめた。それはサンゴ島（ラグーンアイランズ）と呼ばれて、水際からわずかに高まっている。輝く白い砂浜には、緑色の植物が……」

このように、ダーウィンはタヒチに向かう途中、船上から初めてサンゴ礁を見るのです。初版にはサンゴ礁のことは、この引用部分までまったく触れられておりません。先に引用した第二版の「カ所に、論理を進める上で補助的に出てくるだけです。ダーウィンは南アメリカでサンゴ礁に興味を持つようになったのは、私の推測ですが、南アメリカ滞在中に、サンゴ礁について「ビーグル号の乗組員から幾度も聴かされていたのではないのでしょうか。そして「知りたがり屋さん」のダーウィンのことですから、環礁の美しさ、不可思議性について多くの質問を浴びせたにちがいないと思います。

環礁

それではここで、先ほど引用しました文章から続いていくところや『サンゴ礁』を使って、環礁（図一）の概観を述べます。

「たいていの航海者は大洋に浮かぶサンゴ礁を、環礁（アトル）、堡礁（バリアリーフ）、裾礁（フリンジングリーフ）などという言葉で無意識的にはあったが区別していた。このうちで

環礁(ラグーンアイランドまたはアトル)が最も注目を引いた。これは無理からぬことである。私はガラパゴスからタヒチに向かう途上で、水面からわずかに顔をのぞかせているサンゴ礁島のすこぶる奇妙な輪をいくつも見た。この輪の内側(礁湖またはラグーン)には静かな水が湛えられており、陽光を反射して淡いコバルトブルーに輝いていた。ここは大海を渡ってきた船の絶好の碇泊所となった。この輪は海面にまで達したサンゴ礁からなり、この上には目にもまばゆいばかりの白い砂浜に縁どられたココヤシが青々と繁る島々があつた。これらの島々は幅狭く、高さも数メートルに満たない。茫漠たる大洋の中に忽然と現われる環状のサンゴ礁は、強力で倦むことを知らぬ波浪と闘い、水中に沈められずにいる。この環礁の直径は小さいもので一〇キロメートル、大きいものでは三〇キロメートルあるのも珍しくない。栄養塩類が少ないといわれる熱帯の海にあつて、サンゴ礁の生物は美しく多様である。砂漠中のオアシスといつてよいだろう。科学者ならずとも熱帯の海を航海した者ならば、このような環礁がどうしてできたのだろうか、という疑問を持つことだろう。

事実、この環礁の成因に関する問いかけは古くからなされてきました。



図1 環礁(駒井卓「ダーウィン—その生涯と業績」より)

それゆえ、サンゴ礁の形成というより環礁の形成が、長く議論されてきた「サンゴ礁問題」のテーマと言えます。

火口基底説

ライエルの「地質学原理」第二巻は、ビーグル号がイギリスを離れた次の年に出るのですが、ライエルはその最後の章を「サンゴ礁の形成」にあてました。そこで彼は、過去の航海記録や研究を編集して、環礁火口基底説を唱えるようになりました。ドイツの詩人で生物学者であるシャミッソー(一八二二年)は、一八一五年から一八一八年にかけてロシア船に乗って世界を巡り、サンゴ礁は海面に向かって成長すること、そして波が砕けるところ、つまりサーフゾーンで最も盛んに新しい礁を造る(造礁すること)を見出しました。これらのことから、大洋にある浅瀬に環状のサンゴ礁が形成されて、この内側ではサンゴが生息するための食物が不足し、この礁湖は拡大していく、としました。クォイとガイマール(一八二五年)はオーストラリアなどの海岸を巡る航海に参加し、サンゴは浅海にのみ生息し、多くの環礁の下には火山性の基底があることを示唆しました。そして環礁は海底火山の火口壁の頂部に形成されたものと考えました。

ライエル(一八三二年)は、過去のサンゴ礁に関する研究をまとめ、地表を構成する生物源堆積物のうちでサンゴ礁石灰岩が最も重要であるとし、ダイナミックな理論を展開しました。そして環礁群の配列が火山島弧の島々のそれとよく似ているので、すべての環礁が海底の火山の山頂に

載っているのではないかと類推しました。環礁のリング状の形態を説明するために、クォイとガイマールの海底火山基底説を修正しつつも支持しました。ライエルは「地質学原理」の同じ章で、大洋底の沈降(一)を唱えていましたが、環礁の形成を考える上でその基底にある火山の沈降をまったく考慮しませんでした。このことは、火山の沈降がダーウィンのサンゴ礁形成説の重要な鍵になっていることを知っている私たちにとって、不思議に感じられます。

火口基底説の否定

「地質学原理」第二巻がヘンズロー教授から送られてきたのは、ダーウィンが南アメリカ西海岸で長周期の断続的な隆起について研究している時でした。ダーウィンは「サンゴ礁の形成」の章にも読み進んでいったことでしょう。

ダーウィンがこの章を実際にどのように読んだかは、知る由もありませんが、「地質学原理」と「サンゴ礁」を参考にして復元してみたいと思います。「地質学原理」の「サンゴ礁の形成」の二九四ページには縦長のモルジブ諸島の図があり、ここにはほぼ長さ七八〇キロ、幅一〇〇キロの広大な海域にわたる環礁群が示されています。モルジブ諸島の部分の記述を引用します。

「モルジブ諸島はすべて環礁で構成される。そのうちの大きなものは長径で六〇キロメートルないし八〇キロメートルに達する。ホーズブル艦長の海図をここに示しておいたが、彼は私に次のようなことを教えてくれた。『それぞれの環礁の外側には、時おり二ないし三マイル

(約三ないし五キロ)離れた所にもサンゴ礁が分布することがある。これを越えると、深すぎで測ることができない』

火口が六〇ないし八〇キロメートルもある火山が果たして存在するでしょうか。ライエル自身、気になって多少議論していますが、明確な根拠を提示できませんでした。ダーウィンは、これを火口説を否定する根拠の一つにしています。そして環礁の外洋部分のサンゴ礁のこの記述が、ダーウィンをしてインド洋のキーリング環礁の底質調査に進ませるようになります。

先の引用の少し後に、次のような記述があります。

「モルジブ諸島とこの北の延長であるラッカジブ諸島、そしてこの南の延長のチャゴス諸島のサンゴ礁島がすべて、火山の頂上部を占めていると考えることは、性急過ぎるだろうか。(火山島である)ジャワやスマトラ島を仮に海面下に沈めてみると、それらはモルジブ諸島などにくらか似た形態を成すだろう。ジャワやスマトラ島の火山は、直線上に、モルジブ諸島の環礁の間隔ぐらいでしばしば配列している。そしてこれらの火山がそれらの基底から五千ないし一万フィート(一五〇〇ないし三〇〇〇メートル)上昇するならば、それらの間には測定することができないほどの深い海ができるだろう」

現在生きているサンゴ礁はせいぜい深さ数十メートルまでしか形成されません。「サンゴ礁」の第五章「種々な型のサンゴ礁形成説」の初めの方に、およそ次のような記述があります。

「モルジブ諸島とこの南北に隣り合う島々は、方向が皆はつきりと同じで、島という島はす

べて低いので、モースビー大佐は、これらを長さ約一五〇〇マイル(約二四〇〇キロ)にわたる一大連鎖の地域と書いているくらいである。……環礁は大洋に広く散らばる火山の上に載っているのであるが、この火山の山頂が二〇〇〇キロメートルの広い海域にわたって、サンゴ礁の形成しうる浅い深度にそろって位置することがありうるだろうか。海の中にある山系も陸上にある山系からある程度正確に判断できるはずであるが、陸上の山系の最も高い頂上にわたって、火山がサンゴ礁の形成される深度まで隆起して、どれ一つとして海面上に顔を出さないということがありうるだろうか」

ダーウィンのこの思考実験は、ライエルの先の引用の部分と似ていると思われませんか。恐らく、ダーウィンは「地質学原理」を読み、ジャワ島やスマトラ島を、さらにアンデスの山々を頭の中で実際に海に沈めていたに違いないじゃありませんか。そして火口説の種々の矛盾を一気に解決する方法を、ライエルの「地質学原理」から見つけたのです。いわゆる出藍しゅらんの誉れというのでしょうか。

彼は「サンゴ礁」をまとめる際に、多くの文献と資料を参照し整理する必要があるました。しかしながら、ライエルの「地質学原理」だけで十分に、ダーウィンは彼のサンゴ礁形成説を作ることができたと言つても過言ではないと思います。ダーウィンは南アメリカの海岸の調査を通じて彼のサンゴ礁形成説を生み出した、と言つていますが、それを生み出す直接的な現象をダーウィ

ンはこの地で観察しておりません。前にも述べましたように南アメリカでの地質調査は、「地質学原理」を指導教官とする彼の地質学実習であつたと考えることができます。この結論はこの小文の目的としてきたところです。

ダーウィンの環礁形成説—沈降説

火口基底説の矛盾を明らかにしたダーウィンには、自らの説を打ち立てる必要がありました。ライエルの「地質学原理」第二巻の最終章を再度見ます。「もし地震による隆起と沈降に平衡関係があれば、サンゴ礁は成長し、熔岩は流出し、火山灰も噴出するから、地盤の隆起力と結合して、太平洋にはすぐにも大きな島々が出現することであろう」という記述があります。太平洋には実際、小さな島々が散在しているだけでですから、ライエルは太平洋は沈降していると考えました。大陸は隆起し海洋は沈降しているということに関するライエルの詳細な記述は、ダーウィンに大きな影響を与えたことでしょうか。事実、「ビーグル号航海記」や「サンゴ礁」にもこの部分が賞讃をもって引用されています。それゆえに、環礁の分布地域は沈降しているとダーウィンが考えるのは、自然だと言つてよいと思います。そう考えることによって火口基底説の矛盾は一気に解決いたしました。

「サンゴ礁」の第五章「種々な型のサンゴ礁形成説」を主に使って、沈降説に至る過程を説明していききたいと思います。引用文はダーウィンの原典に重きを置きつつ、白楊社ダーウィン全集の

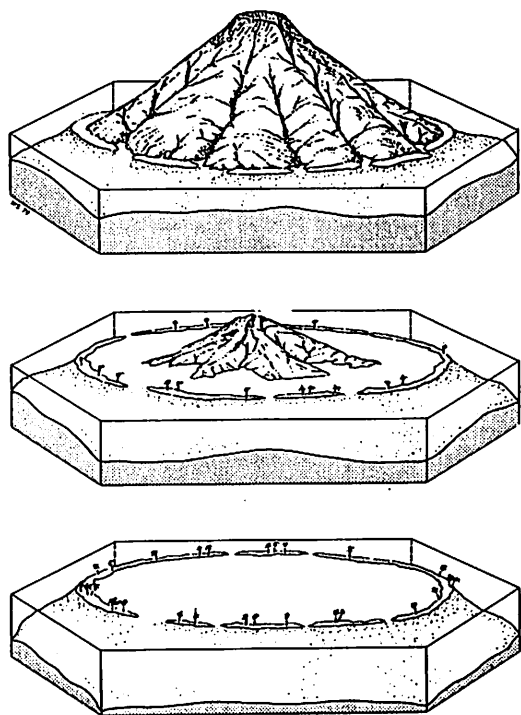


図2 ダーウィンの堡礁・環礁形成モデル (David Hopley: The Geomorphology of the Great Barrier Reefより)

くのです。一方、サンゴ虫は火山島の周囲の、生息に最も適した浅瀬を選んで付着し、海面まで上方にサンゴ礁を形成します。サンゴ礁は火山島が沈むにしたがって上方へと成長し続けます。つまり、裾礁から堡礁、環礁へと進んでいくのです(図2)。もともと火山の高度や形成時期には違いがあったはずですから、環礁や堡礁が混在している、理解できるわけです。

永野為武氏訳「珊瑚礁」を参考にしています。まず、「サンゴ礁を形成しているサンゴ虫は二〇ないし三〇尋(約三五ないし五五メートル)よりも深い所と大潮時の平均低潮位より上では、繁殖することができない」という前提があります。さらにダーウィンは、従来区別されていた高い島、低い島という概念を重視しました。デュルヴィエとロタン(一八三四年)はすでにこの概念に立って太平洋の島の分布図を発表していました。ダーウィンはこれをさらに充実させました。「低い島」という用語は厳密にいつて、一般に外洋の風や波によって物が打ち上げられる程度の高さにはか達していない島」を意味します。こういう低い島が、前にもお話ししましたように、広大な海域に分布するのです。ダーウィンは多くの従来の報告を調べて、このことを確認しました。

環礁ができるためには、サンゴ虫が生息できる浅海に基底が必要です。それはシャミツソーが考えたように、砂の堆積でできた広い浅瀬かもしれませんが、太平洋やインド洋の中央部には、現在そのようなものは認められません。クオイやガイマール、さらにライエルと同様、ダーウィンは火山の岩が基底になっていると考えました。ただし、前節で述べましたように、火山の山頂がサンゴ虫が生息しうる深度に広域にわたってそろうなどということは、ありえないことです。ライエルが指摘しましたように、高い島がない広大な海域は沈降しているはずで、隆起していたり、現在火山活動が活発であれば高い島があつていいはずで、ダーウィンは考えました。低い島ばかりのこの広大な海域にも、たとえば東インド諸島のように、かつて火山がいくつもそびえていたはずで、島々の山々が一つ一つ、そして島々が続いておむろに一つ一つ沈んでい

ダーウィンの環礁形成説―裾礁・堡礁・環礁

図2最上部は裾礁(フリンジングリーフ)を示したもので、火山島の周囲(裾)にサンゴ礁がフリッジ、つまり縁取っています。これはサンゴ礁が浅い海でしか形成されないことを知っていれば説明を必要としません。

サンゴ礁が溺れない程度にゆつくりと沈降する地域だと、サンゴ礁は裾礁ができた地理的位置からそれほど変わらずに滞留することができます。つまり火山島の沈降とともに、新しいサンゴ礁石灰岩が上に上に積み上がっていき、サンゴ礁は海面の直下で生息し続けます。火山体は円錐形を成すので沈降するにつれて小さくなり、さらに海によっても川によっても侵蝕されていきます。そうすると、もとの裾礁の位置のサンゴ礁と山体との距離は大きくなります。この間の海域を礁湖といい、環状になったサンゴ礁を堡礁といいます(図2中段)。図3にはペロス・バンホス環礁、キーリング環礁という二つの環礁と、堡礁の平面図が示されています。堡礁中の島の海岸線は、内陸に屈曲しています。このように屈曲した海岸をリヤ式海岸といいます。ダーウィンはこれにも注目しています。これは川によって侵蝕された山体が沈降し、かつての谷に海水が入り込むことによつてできる地形です。

この図のライアテアをたとえば見ていただきたいのですが、堡礁はこの屈曲には従っていません。さらにこの堡礁は、山体の谷の出口の延長で切れています。サンゴ虫はある程度の大きさの川の出口では、川から運ばれてくる泥や真水のために生息することができません。サンゴ虫が生

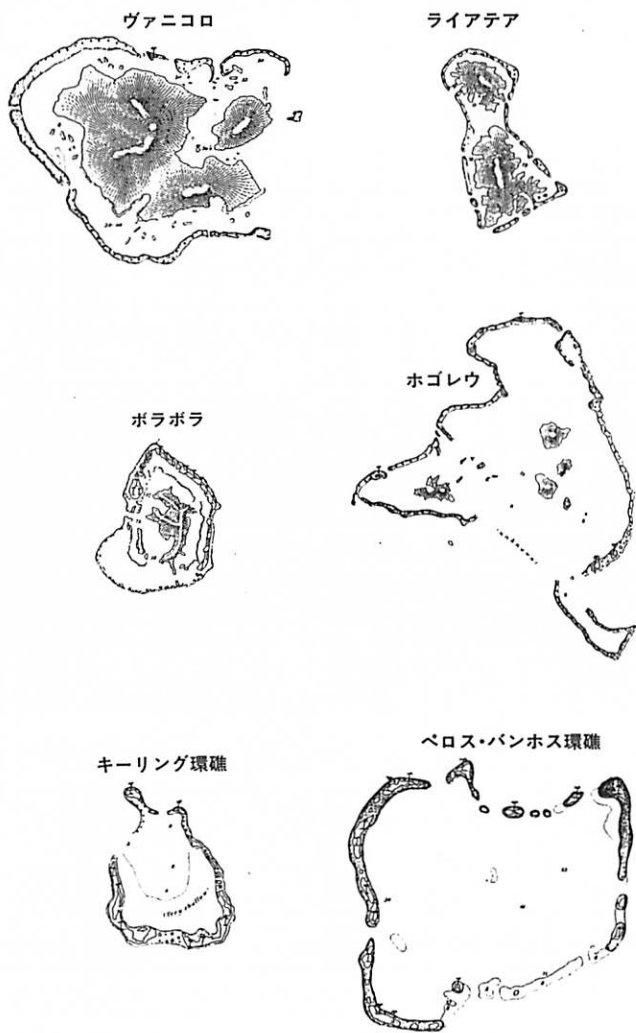


図3 堡礁と環礁の海図 (Charles Darwin: The Structure and Distribution of Coral Reefsより)

息するには清澄で適当な塩分濃度を必要とするのです。堡礁が島の海岸線にくらべて屈曲がないのは、このサンゴ礁が裾礁時代の海岸線を保存していると考えてよいのではないのでしょうか。川は海底まで侵蝕できませんから、火山ができた頃の海岸線には、谷に海水が入り込んだような屈曲は存在しないはずで。

堡礁の外洋に面した部分では、直接波がぶつかるために不断に栄養分や酸素が供給され、排泄物が外洋に排出されます。このためにこの部分のサンゴ礁の成長速度は、生息条件が劣悪な礁湖にくらべて、格段に早くなっています。環状のサンゴ礁つまり堡礁は、島の沈降に対応して上方へ成長し、海面までサンゴ礁を形成しますが、一方礁湖のサンゴ礁は成長が遅く、島の沈降、言いかえれば海面の上昇におっつかず溺れていったということが出来ます。この礁湖の深さは三〇ないし一〇〇メートルで、島の沈降速度や、礁湖内のサンゴ礁の形成速度や堆積速度に依存するといえます。

島がさらに沈降を続けて、以前のサンゴ礁石灰岩の上に次から次へと新しい石灰岩が積み上がって、礁湖の内側の島がついに海面下に没してしまえば、環礁の誕生ということになります。もう一度、図3の堡礁の分布図を見て下さい。堡礁の図をうまく組み合わせることによって、火山島が徐々に沈んでいくようすを想像していただけるのではないのでしょうか。

沈降が長く続き、環礁のリングが小さくなって礁湖が埋め立てられることもありうる、とダーウィンは言っています。彼は、ピーチー大佐が調査したロー群島の三一個のサンゴ礁のうちの二

個がこの例にあたるのだとしています。これは、日本のサンゴ礁研究者であり、海底火山明神礁（伊豆諸島南部）の爆発で一九五二年に亡くなった田山利三郎が一九三四年（昭和九）に発表した卓礁にあたります。デイビス（一九二八年）によれば、これはやがて痩せ細り、ぼつかりと折れるといえます。消滅礁ということになります。

ダーウィンのサンゴ礁形成説の特徴

ダーウィンより前の研究者は、サンゴ虫は浅い海にしか生息できないから、環礁の基底には必ず火山や砂といった浅瀬があるはずだと思いましたが、火口基底説ですと、海面付近まで上昇した海底火山の山頂にのみサンゴ礁ができることになりました。これに対しダーウィンは、火山を自由に海上に噴出させ、そしてある幅を持った時期から沈降させていったのです。サンゴ虫の生息場所として初めから島を持たない浅瀬を設定するのではなく、かつて在りえた火山の波打ち際に設定したのです。ダーウィンは、海底のかつての火山の山頂や孤立した砂地の浅瀬にも従来言われているように、サンゴ礁は形成される、と「サンゴ礁」で繰り返し述べています。にもかかわらず、ダーウィン説に対して「砂地の浅瀬にもサンゴ礁が形成されているからダーウィン説はおかしい」といった批判がありました。ダーウィンのサンゴ礁形成説の意義は、これによって初めて、大洋に偏在する比較的規模の大きな環礁群の成因を説明することができたことだと思えます。

裾礁、堡礁、環礁と続く図2のような模式図は、裾礁は時間がたてば必ず環礁になるといふ誤

解を一般の人々に与えてきました。もちろん、裾礁が環礁になるためには、長期間その海域が沈降する必要があります。『サンゴ礁』の章立てを見ますと、第一章「環礁」、第二章「堡礁」、第三章「裾礁」となっています。私はかつて、ダーウィンのサンゴ礁形成説といえば、図2のような系統図をイメージしていたものですから、初めて『サンゴ礁』を読んだ時には、この章立てが逆さまのように思われました。しかしながらダーウィンにとっては、環礁がその美しさからいっても、興味からいっても最も優先すべきものだったのでしょう。

タヒチとキーリング環礁

ダーウィンは地理的分布を時間系列に読み替えるのが大変うまくいったように思います。生物の種の変異にしても、この手法によって系統づけましたし、サンゴ礁の系列においてもそうです。ダーウィンは裾礁と環礁の中間型として、堡礁を位置づけました。『サンゴ礁』に、タヒチに到着した時のようすが記されています。

「詳細にお話ししましたから、堡礁と環礁とは本来違っている点は一つもない、ということがおわかりになったことと思います。環礁はただ一面に海水を取り囲んでいるものですが、堡礁はその内側に、一つあるいは二つ以上の島の入った海面を取り囲んでいるだけのことなのです。私はタヒチのある頂きからエイメオ（現在のモーレア）を眺めた時に、このことを痛感しました。エイメオ島は、白く碎ける波のリングに取り囲まれた、静かな海面の内にそび

えていたのです。どうです。その真ん中の島を取り除いて考えてみれば、環礁ができる……：ではありませんか」

スマトラとジャワの間のスダダ海峡の南西約一〇〇〇キロにあるココスキーリング諸島は、ダーウィンが調べた唯一の環礁です。ここへは航海の最後の年の一八三六年四月一日に到着しました。キーリング島の章は、『ビーグル号航海記改訂増補第二版の本文五〇六ページのうちわずか三ページしか占めていませんが、この「航海記」のうちで最も論理の濃縮されたところです。『航海記』を読み続けてきた読者にとっては、読み飛ばしたくなる部分かもしれません。しかし、この本を読んで下さっている方はもう心配しなくていいのです。実はもう説明してしまったのですから。ここではダーウィンが自分の仮説を実証するために、どのような調査をしたのかを述べます。

ダーウィンはキーリング環礁で実に多岐にわたる観察をしますが、サンゴ礁を訪れた者が必ずといってよいほど持つ感慨を記したところがありますので、少し長くなりますが引用します。「四月六日。……礁湖からあがって、小さなサンゴ砂礫の島を越えると、突然大きな海鳴りが響き、巨大な磯波が砕け散った。……堡塁のような磯には、緑のブッシュが低くココヤシは高く縁どり、この前方のサンゴ礁石灰岩の岩礁には、あちこちに大きなサンゴ礁の破片が散らばっている。そして目の前に立ちはだかつて崩れる波。この強敵に、サンゴ礁は一見極めて弱々しい無力な手段で抵抗し、さらに克服している。大洋がサンゴ礁に損害を与えない

わけではない。大きなサンゴの破片が岩礁の上に散在し、あるいはビーチに積み重なっている。たとえ穏やかな日ではあっても、広い海域にわたって、常に一定の方向に吹く不断の貿易風はうねりを生み出し、温帯地方の暴風にほとんど劣らない崩波を起こし、荒れ狂ってやまない。島が仮に斑岩、花崗岩、石英岩のような最も硬い岩石で成っているとしても、ついには、かかる抵抗しがたい力に征服されて粉碎されてしまうだろう。ところがこの低く目にもたためぬサンゴ礁の小島がここに存在し、勝利をしめている。これは、生物の力が泡立つ波から炭酸石灰の分子を一つずつ分離し、それらを見事な構造に結合していくからである。暴風が何千の巨大な岩塊をもぎとるのもよい。幾月も重ねて、夜となく昼となく働く幾億万の建築技師の労力の集積に対して、それが何ほどの効果があるうか。かくして、人間の技術も無生物的な自然の力も抵抗できない大洋の巨大な波の力に、柔らかなゼラチン質のサンゴ虫が打ち勝っているのである」

「四月二日。……艦長フィツロイは海岸からわずかに二二〇〇ヤード(約二〇〇メートル)の距離で、七二〇フィート(約二一六〇メートル)の測深用ロープでは海底に達しないことを知った。したがってこの島は高くそびえた海底の山であって、その山腹は、最も屹立した火山の円錐形よりもさらに急峻である」

この環礁の外洋斜面の傾斜は四五度以上ということになります。ダーウィンのこの文章には、これ以上の展開はありませんが、サンゴ礁石灰岩が厚く上方に積み重なっていることを意識した文面になっています。そして証明のための底質調査を行います。測深のためのロープの末端に付けられた鉛のおもりの底に獣脂をつけて、底質を調べました。

「キーリング環礁の外洋側の急峻な斜面で、フィツロイ艦長によって、多くのポイントで測深が慎重に行なわれた。一〇尋(二メートル)以内では、測鉛の底の獣脂には、かならず生きているサンゴ虫の痕跡を印しながら上がってきた。それはあたかも敷物のような芝生の上に落ちたかのように、汚れていなかった。深くなるにつれて、砂粒が付着し始め、遂に海底は滑らかな砂の層になった。……他の多くの例によっても確かめられたがこの観察から、サンゴ虫が岩礁を構成しうる最大の深度は二〇尋と三〇尋(約三五メートルと五五メートル)の間にある

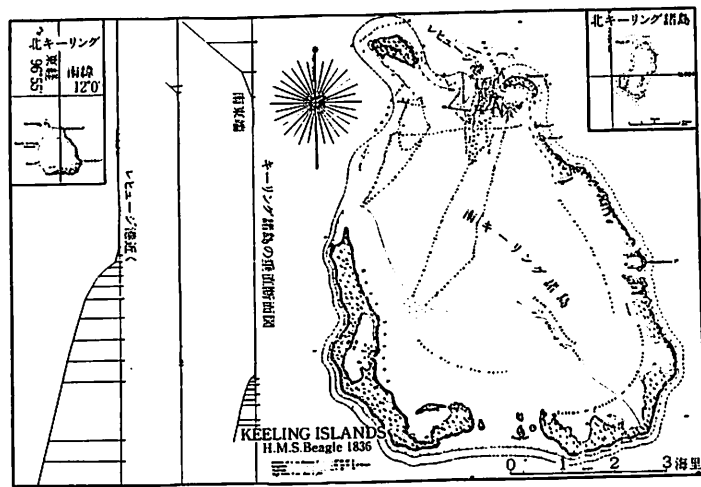


図4 キーリング環礁の測量図

と推定して間違いない」

この結果は、先の環礁外斜面の傾斜の資料とあわせて、沈降説を確信する上で参考になったことであろう。フィツロイ艦長以下によって作られた海図を図4に示しました。

ダーウィンは南アメリカで地震を体験し、それによる海岸の隆起を観察しました。環礁が沈降しているのならば、そういう地震が環礁地域にもあったはずだ。

「堡礁、あるいは環礁の沈下の証拠を挙げうるかと私に尋ねられるかも知れない。しかしこの運動は、その影響を受けた部分を水中に隠すので、それを指摘することはなかなかむづかしい。にもかかわらず、キーリング環礁で礁湖のすべてをの縁で、風上でも風下でも古いココヤシの木の根元が掘りおこされ倒れかかっているのを見た。また、フィツロイ艦長が私に教えてくれたのだが、ある場所では一軒の小屋の土台の柱は、住民たちの証言によれば七年前には高潮線のすぐ上方にあったのだが、現在は波に洗われているということである。住民に聞いただした結果、私たちが島を訪れる二年前の一八三四年にひどい地震があったことと、その前の一〇年間にそれよりは軽いのが二回ばかりあったということを知った」(主に「サンゴ礁」より引用)

キーリング環礁の調査を終えてイギリスに帰る途中、モリーリヤスのポートルイスで碇泊中に、ダーウィンが妹のカセリンに書いた一八三六年四月二九日付けの手紙があります。これには、環礁火口基底説がいかに馬鹿げたものであるかという感想が述べられており、遅くともこれより以前に新しいサンゴ礁形成説ができていらしいことがうかがわれます。

ダーウィン説に対する批判

彼のサンゴ礁形成説はほぼ二〇年間にわたって、すべての地質学者に受け入れられていました。しかしながら、ゼムベル教授の一八六三年の論文以来、ダーウィンが存命中にも何人かによって反論がありました。ダーウィンはほとんどすべての反論に対して、一八七四年に刊行された「サンゴ礁」第二版で自分の考えを述べています。その一つ一つについて、ここで紹介する余裕はありませんが、反論の九九パーセントは「サンゴ礁」を正確に理解できなかったものであり、さらにダーウィン説に包含されるものでした。いずれにしろ、ダーウィン説の本質を批判するものではありません。マレイ博士が一八八〇年に行なったダーウィンの沈降説に対する批判は当時評価されましたが、マレイ説と同じ内容は「サンゴ礁」第一版にすでに述べられています。マレイ説に関連してアガシーにあてた手紙があります。これは、ダーウィンが亡くなるほぼ一年前の一八八一年五月五日の日付けです。

「……サンゴ虫が生息しうる適当な深さに浅瀬があれば、そこに環礁ができて、それは沈降によってできたものと区別がつかない、ということの特に(第一版ですでに)注意しておきました。しかし大きな環礁に匹敵するほどの浅瀬がかつていくつも大洋にあって(そこはちっとも沈下が起こらず)、これらの浅瀬にサンゴ虫が集まって数百フィートの厚さになったなどとい

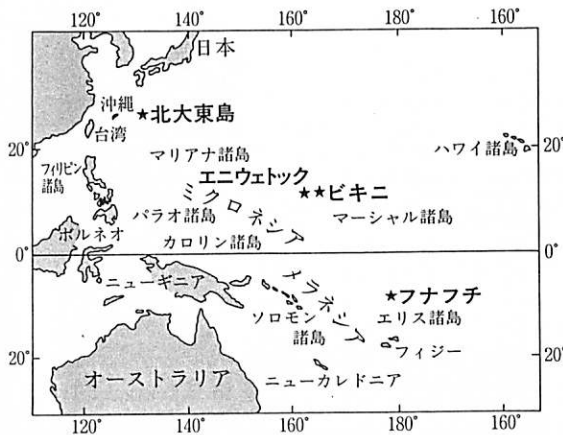


図5 太平洋の環礁の深層ボーリング位置

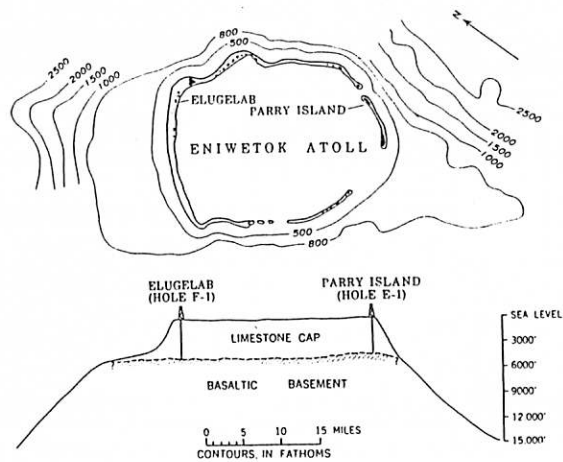


図6 エニウェトック環礁の海図と垂直断面図(H. S. Ladd and S. O. Schlanger: Drilling Operations on Eniwetok Atollより)

アゾム(尋)で、一・八メートル、垂直断面図の単位はフィートで、〇・三メートルです。図7には海底の測量によって得られたビキニ環礁とシルヴァニア平頂海山の鳥瞰図を示しています。等深線間隔は二〇〇尋(三六〇メートル)です。図6のエニウェトック環礁の垂直断面図を見ます

環礁のボーリング
 ダーウィンの夢であった環礁の深層ボーリングは、母国の王立学会によってダーウィンが亡くなって一〇年余り後の一八九六年から一八九八年にかけて行なわれました。場所は、東経一八〇度、南緯一〇度近くのフナフチ環礁(図5)で、深さ三四〇メートルまで掘ることができました。上部一九四メートルは浅海性のサンゴ礁石灰岩、残りはドロマイトで、これらの石灰岩は第三紀中新世より後のものでした。ただし、火山岩に達しなかったという意味で、ダーウィンの沈降説にとつて不十分な結果でした。その後、北マーシャル諸島のビキニ環礁とエニウェトック環礁で、十字路作戦といわれた原爆実験の前に大規模な自然環境調査が行なわれました。エニウェトック環礁では一九五一年に深層ボーリングが実施されました。一四〇五メートルまで浅海性のサンゴ礁石灰岩で、これ以下はかんらん石玄武岩でした。ダーウィンの沈降説は実証されました。図6にエニウェトック環礁の平面図と垂直断面図を示しています。平面図の等深線の単位はフ

うことは、ほとんど信じられません。……もしも私が間違っているのなら、いますぐ頭上に一撃を食らって、やつつけられてしまってもよいと思います。海洋底で広域にわたる永続的な沈下が起こらなかった、とするほうが、私には奇妙に思われます。誰かすてきな大金持ちが思い立って、太平洋とインド洋のいくつかの環礁でボーリングをして、深さ五〇〇または六〇〇フィート(二五〇または一八〇メートル)から試料を持ってきてくれたら、と思います」

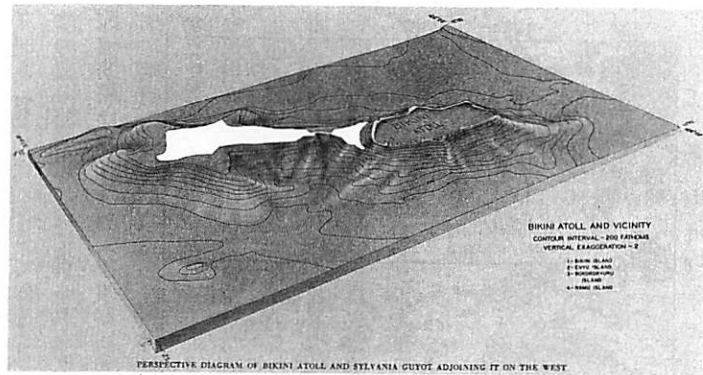


図7 ビキニ環礁とシルヴァニア平頂海山の鳥瞰図 (K. O. Emery, J. I. Tracey, Jr., and H. S. Ladd: Geology of Bikini and Nearby Atoll より)

と、環礁の基底は平坦になっています。これは調査の結果、海の侵蝕(平坦化作用)によってできたものだということがわかっています。ダーウィンのサンゴ礁形成説ですと、環礁の基底にはほぼ円錐形をした火山があるはずですね。図7に示しました白抜きの平坦部、平頂海山(別名ギョー)の上には波の侵蝕によってできた丸い礫が載っています。ビキニ環礁にはサンゴ礁石灰岩が厚く載っているのに、この平頂海山には形成されませんでした。なぜなのかは不明です。次に、ボーリングで得た試料を調べますと、この環礁は第三紀という時代から何度か海面上に高く出ている時がありました。つまり「高い島」の時があったのです。

人類が出現し活動するこの第四紀という時代は、始まって二百万年近くになります。第四紀には氷期とその間の暖かい間氷期が交互に繰り返されてきました。氷期には、陸上の氷河や氷床が成長してその分だけ海の水が減り、海水準が低下します。間氷期にはとけて

海水準が上昇します。

デーリーというアメリカの地質学者(一九一〇年)は、この現象を使って環礁の形成を説明しました。この氷河制約説が正しいのか、ダーウィンの沈降説なのかという点について地質学会で国際的に多くの議論がありました。この議論は「サンゴ礁問題」として、一世を風靡ふうびしました。デーリー説自身は、先に述べましたボーリングの結果によって明らかに間違っていることがわかりましたが、氷河の消長によってここ数十万年の間、海面が一〇〇メートル前後上下することは現在確かめられています。

環礁の中のくぼみ、つまり礁湖のできかたも、ダーウィンが考えたような単純なものではなさそうです。海面が低い氷河時代に、繰り返しサンゴ礁石灰岩の島が海面上に干しあがり、カルスト(陸上の溶蝕)地形として形成されたようなのです。ダーウィンの時代とくらべて、地学は飛躍的に進んでいます。このような修正が行なわれるのは当然で、恐らくダーウィンは喜んでくれることと思います。

ダーウィンの沈降説は大枠で正しいことが証明されました。そして裾礁、堡礁、環礁という系列とその論理体系も、サンゴ礁石灰岩から氷河性海水準変動を解く際の方法論に現在生かされています。

おわりに

ダーウィンは「サンゴ礁」で、「サンゴ礁形成説に関連してのサンゴ礁の分布」というテーマを最終の第六章においています。図8がその付図の一部です。これはダーウィンが従来の研究成果を使って、彼の理論でまとめたものです。原図では環礁は薄い青色、堡礁は濃い青色、裾礁は薄い赤色、火山は濃い赤色で塗られています。ダーウィン説では環礁も堡礁も長く沈降している地域ですから、同じカテゴリーに含まれます。裾礁は沈降地域には分布せず、安定もしくは隆起地域に分布します。この地域には火山が認められることが多いようです。火山は環礁や堡礁の分布する地域には存在しません。このことから、沈降地域を青色で、隆起もしくは安定地域を赤色で、サンゴ礁を使って大きく二区分したのです。サンゴ礁の形成される、緯度にして南北三〇度の海域が、見事に構造区分されています。この分布の意味づけは現在の新しい地球観、プレートテクトニクスによってその多くが説明されるようになりました。

ダーウィンはこの図を完成して、再度彼の沈降説の正しさを確認しています。「環礁の分布している海域を通じて、海面上には高い島のピークがただ一つも残っていない。それゆえに、沈降がいかに大規模のものであったかがわかる。のみならず、その沈降は……極めて徐々としたものであったに違いない。この結論はおそらくサンゴ礁の研究から推測されたものうちで、最も重要なものであろう」と。

『ビーグル号航海記』のキーリング環礁の章の最後の言葉を次に引用して、この小文を閉じたい

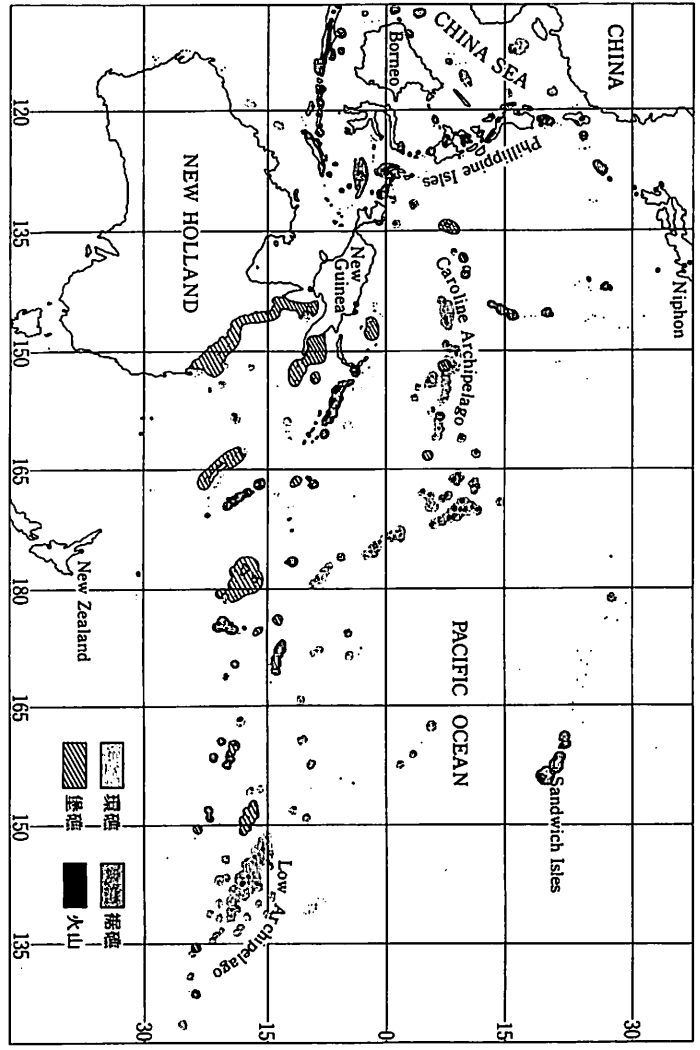


図8 サークル島の分布

と思います。

「岩礁を造るサンゴ虫は、海洋底の上下振動の驚くべき記念碑を建て、そして維持していく。われわれは一つ一つの堡礁に、その地が沈降した跡を見、一つ一つの環礁に、今は消失してしまった島々の記念碑を見る。われわれはこうして、一万年も生き続けて、過去の変化を握っている地質学者のようだ。この地球の表面が破壊し、陸と海とが互いに入れかわった大きな機構について、若干の洞察を成しうる」となる」

●本文や図に明示したものを除いて、参考文献を次にあげます。

- Darwin, F. *The life and letters of Charles Darwin*, Vols. I and II (in two volumes). Including an autobiographical chapter. D. Appleton and Company, New York. 558p. and 562p. (1896) (初版は1887)
Herbert, C. *The Red Notebook of Charles Darwin*, edited with an introduction and notes by Sandra Herbert. British Museum (Natural History), Cornell University Press, Ithaca and London, 164p. (1980)
Steers, J. A. and Stoddart, D. R. *The origin of fringing reefs, barrier reefs, and atolls*. *Biology and Geology of Coral Reefs*, Vol. IV (Geology 2), pp.21-57 (1977)
フラン・ムーアヘッド「ダーウィンとビートル号」二八三頁 浦本昌紀訳 早川書房 一九八二年
チャールズ・ダーウィン「ダーウィン自叙傳」一七三頁 清水 護訳註 研究社 一九五三年
駒井 卓「ダーウィン——その生涯と業績」二八四頁 培風館 一九五九年

杉浦昭典

神戸商船大学教授

帆船カティサークの航海