

オーストラリアのハメリンプル湾における 現生ストロマトライトの形態形成について

伊津野 郡 平¹⁾

1. はじめに

ストロマトライトとは一体何なんでしょうか。現地の観光局でも「ああ、あれは石です。」と一言(写真1)。いかにも観光材料には不合格のようである。海岸にいても生物はほとんどいない。海を見れば水平線、反対の陸地の方を見ると地平線、それに北側を廻る太陽を足したものがハメリンプル湾周辺の情景の全部である。なんと簡単なところであろうか。ツアーに入れてくれないのもわからないでもない。

ところが最近少しずつ観光客が増えてきた。近くの野性のイルカで有名なモンキーマイアへいった観光客が途中で寄るらしい。しかし、彼らの行動を見ていると海岸に立って5分もすると帰途に着いてしまう。彼らのスケジュールのなかにはトイレ休憩程度の時間しか割り当てられていないようである。

もし私が観光客であったならば同じような事になったに違いない。しかし、もう少し踏み止まってみるとおもしろい世界が見えてくるのである。今回はストロマトライトの全体像を形態の面から追ってみた。

2. ストロマトライトって何?

ストロマトライトの意味は「ストロ」は層構造、「ライト」は石を表し、「マト」はストロとライトを結びつける接続詞である。したがって「層構造を持った石」という意味になる。

写真やテレビに映し出されるストロマトライトは硬そうに見えるが、手で触れてみるとスポンジのよ

うに柔らかいところもある(NHK取材班, 1988)。これはシアノバクテリア(Cyanobacteria: 藍色細菌)が表面にいて弾力性のあるマットを造っているためである。そして、このシアノバクテリアは粘液を分泌し、海中を舞っている浮遊物を捕らえ固めていくのである。その結果、浮遊物の堆積が層構造をした石を造るのである。これをもう少し専門的に言うと、「シアノバクテリアによって造り出される生物起源の堆積岩」ということになる。

シアノバクテリアには2つの重要な意味がある。1つは、細胞内器官が明確に分化していない原核細胞であり(藤田, 1993)、これを研究することによって、地球の古い時代の生物を知ることができる。そして、それからどのようにして、生物が進化してきたかを探ることができるのである(濱田, 1991)。

もう1つは、シアノバクテリアが光合成をし、酸素を放出することである。現在の地球大気に含まれる酸素の割合は約21%である。シアノバクテリアはこの大気を造るきっかけとなったとされている。

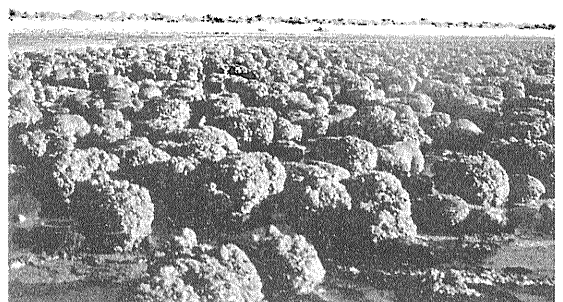
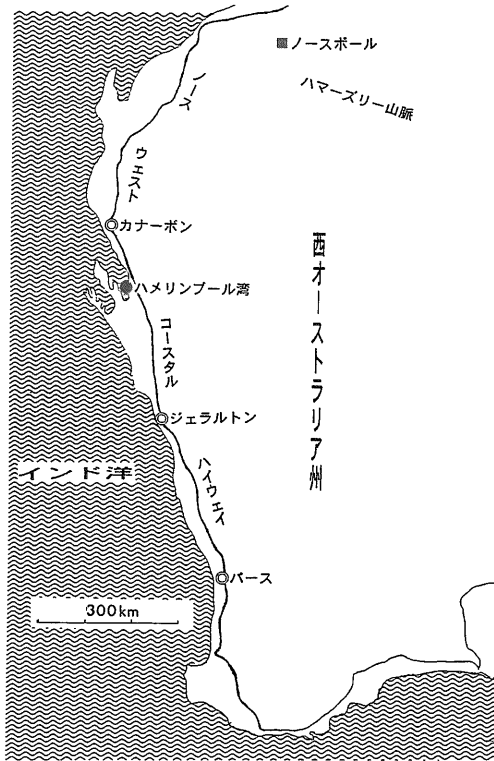


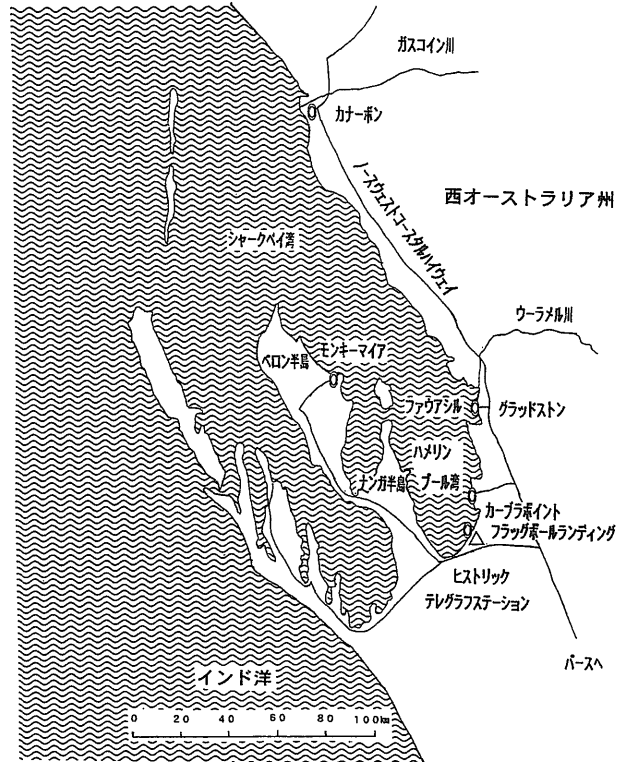
写真1 カリフラワー状ストロマトライトの密集地。
(フラッグポールランディング)

1) 放送大学自然の理解専攻: 〒206 多摩市永山4-2-4-901

キーワード: ストロマトライト, シアノバクテリア, オーストラリア, ハメリンプル



第1図 西オーストラリア州の地名.



第2図 ハメリンプール湾周辺.

また、ハマリンプールのストロマトライトは2千年—3千年程の歴史しかないが(Burne, 1992), 西オーストラリアのノースポールでは35億5千万年前から34億5千万年前のストロマトライトの化石が発見されている。この中には4つの違った糸状体微生物化石が見つまっている(McNamara, 1993). 糸状体というのはシアノバクテリアの1つの形態である。このことは、ストロマトライトが生物進化の初期に関係していたことを示している(Co-wen, 濱田訳, 1986 ; 生物進化の全容が分かる)。

3. ストロマトライトに会うには

ストロマトライトは世界に何ヵ所か発見されている。しかし、最大規模を誇るのは、やはり西オーストラリアのハマリンプールの湾である(第1, 2 図)。日本からハマリンプールへ行くルートは、目的、予算、体力、日程や好みによっていろいろある。私は車の長距離運転にはあまり自信が無いので、運転距離の一番短い方法を選んだ。日本からパースへは飛

行機で10時間。ノンストップはいいのだが、少々疲れる。パースからは、国内線に乗り換えて、カーナボンまで1時間半。そこでレンタカーを借りて国道1号線をひたすら南下する。宿となる「ヒストリックテレグラフステーション」までは、約250 kmである。この方法だと出発から宿まで3日かかることになる。ところで、最近都会でも、4WD(四輪駆動車)をよく見かける。また、ルーバーと呼ばれるアームを前に付けているものもある。都会ではオシャレと飾りのような存在であるが、現地では全く別の意味を持っている。西オーストラリア州ではインド洋に面した比較的海岸線沿いに国道1号線(別名 North West Coastal Highway)が走っている。この道路はしっかりと舗装され快適に走ることができる。しかし、脇道に一步入るとダートロードと呼ばれる泥んこの道である。夏には乾燥し、トラクターのキャタピラの跡が残りその凸凹で車が壊れるのではないかと心配になる程振動し、冬には雨が降って泥沼を走るようである。もちろんそのような時は道路閉鎖になっているが。こんなところは、普通の

車では、すぐに足を捕られて動けなくなってしまう。そこで、砂漠の真ん中で立往生しないように4WDを使うのである。ちなみに現地の人は「フォードゥライブ」と呼んでいた。

次に、ルーバーであるが、夜間走行で役に立つようである。ルーバーのルーはカンガルーのこと。カンガルーは昼間はあまり見かけないが、夜になると道路脇に姿を現してくる。国道1号線は、制限速度110 km/h。夜を走る車は、暗闇の中を、猛スピードで駆け抜けていく。カンガルーは、暗闇に浮かぶ車のライトに興味を持ちしばらく見ているそうだが、近付いてもよく分からないらしい。危険だと気付いたときには、時すでに遅し。まだ、生暖かいバラバラになった肉片が道路上に散らばっているのである。我々には少々残酷なような気がするが、これが現地での日常茶飯事のこのようである。ところで、この時に車にカンガルーが飛び込んで来たり、車が壊れて横転したりすると、今度は我々の方があの世へ旅立たなければならぬかもしれない。こんな事を防止するためにルーバーが有るのである。飾りではなく、生活と命懸けの戦いの結果なのである。

カナーボンから国道1号線を南下し始める時にまず目に入るのが、「Limited water next 423 Km」の標識。つまり、この先水は無いということ。したがって、出発前にカナーボンで、2リットルの水を5本買っておいた。カナーボンの町を出るとすぐ辺りの景色は見る見る半乾燥地帯の荒野へと姿を変えていく。土は赤茶けて、空気は乾燥しており、緑多い日本の景色とは一味も二味も違う。まるで死の世界のようだ。しばらく走ったところで左前方に竜巻が発生。距離は5-6 km と思えるが、一瞬たじろぐ。巻き込まれたらどうしよう。車を止めて、この先行ってもいいのか不安になってしまう。15分ほどで竜巻は消えていった。しばらく、恐る恐る車を進めていくと、今度は右手のはるか遠くの地平線が持ち上がっている。走って行くにしたがって、あるものが消え、新しいものが加わる。その時は何なのか分からなかった。それが蜃気楼であることが後で分かった。おそらくハメルンプール湾の西(国道1号線から60 km 西)にあるペロン半島が浮かび上がっていたのであろう。濱田隆士先生から、この辺の川は「ドライリバーだよ」というのは聞いていたが、

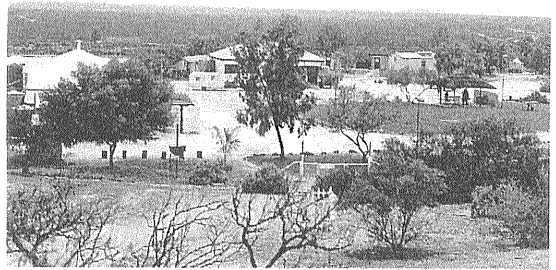


写真2 ヒストリックテレグラフステーション全景。
海岸のジュルの丘から陸地側を臨む。

ウーラメル川に差し掛ったときに「アッ」と驚いてしまった。河幅は30 m 程だが水は一滴も無い。完全に干上がってしまっている。こんな川は見たことが無い。驚いたというよりも自然の力に恐さを感じてしまった。この川は2-3年に一度水が流れることもあるそうだ。初めてみた景色に戸惑いながらも6時間かけてやっと目指す「ヒストリックテレグラフステーション」に着いた。

ハメルンプール湾の周辺での宿泊施設は、あまり贅沢なものはない。一番一般的なものはキャラバンパーク。キャラバンとはキャンピングカーの後の部分で、予めキャラバンだけが置いてあって泊まれるもの。あるいは自分で持ち込んでも良いものもある。ナンガ半島の先のモンキーマイアまで行けばホテルが一軒ある。

「ヒストリックテレグラフステーション」(写真2)はハメルンプールのほぼ南端にあるが、ストロマトライトの観察調査と宿泊を兼ねた、丁度いいところといえば、ここではないだろうか。ここは、民間の施設で、もともと電信関係の施設のあったところ。しかし、最近の電波通信によって、廃止され、施設を残しておこうと立ち上がった人達によって守られている。しかし、偶然にもストロマトライト棲息地と場所が重なったため、オーストラリアはもとより、世界各国の研究者や観光客の訪れる地となっているのである。展示物の中に、ストロマトライトのコーナーがあり、初めて訪れた観光客にビデオを見せたり、実物を縦に割ったものがあり、中の層構造が見れるようになっている。また、水槽があり、なんとストロマトライトを飼っているのである。また、ストロマトライトの観察の仕方も教えている。

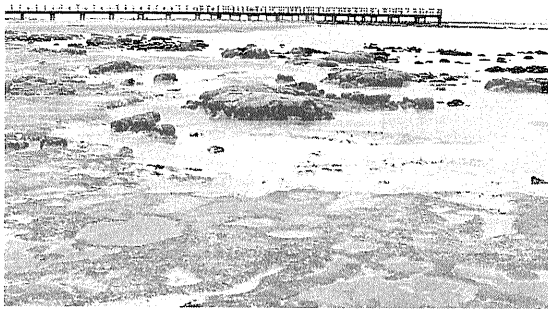


写真3 ストロマトライト観察用の栈橋。
(フラッグポールランディング)



写真4 貝ブロックの採取現場。
二人がかりでノコギリを使って切り出す。

しかし、国の機関ではないので強制力は無く、壊れやすいシアノバクテリアのマットへの注意は観光客の判断に任されている。

もし、ここに泊まるならば、都会暮らしに慣れた方は注意した方がいい。電気は朝7:30-夜11:00までで、あとは電気水道は一切なしである。また、飲料水はちょっとしょっぱい海水混じりのようである。初めは、ちょっと困ったが慣れてしまうとむしろこの方が新鮮で、自然の中に溶けていくような気がする。

ストロマトライトの観察は、もうこの宿からは目の前である。海岸までは100 m ぐらい。案内板も立てられ、ストロマトライトの種類も記されている。最近では、観察しやすいようにと観察専用の橋まで架けられている。実はこの橋、観光客からストロマトライトを守ることが目的らしい(写真3)。

この地点でのストロマトライト観察は比較的容易である。しかし、他の地点には、ここから70 km 程離れたところまで足を延ばさなくてはならない。そこは、わが国初の女性宇宙飛行士で有名な向井千秋さんがスペースシャトルから交信した地点でもあるところ、カーブポイントと呼ばれるところである。そして、そこへの一部はダートロードである。また、潮干帯下、つまり、海水の引く夏でもほとんどが海水面下にあるためスキンドビングをしなければならない。また、ハメリンプールの海水温は低く、夏でも25°C、冬では19°Cである。とても海パン一丁では、夏といえども凍えてしまう。したがってウェットスーツ着用でスキンドビング装備。そして、塩分濃度が通常の2倍程あるので、

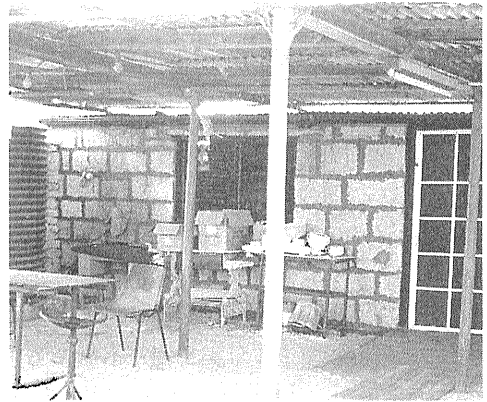


写真5 貝のブロックを建材として使い、積み上げて家の壁を造る。

ウェイトを重くして潜らないと体が浮いてしまう。

ヒストリックテレグラフステーションのお土産といえば、シェルブロックが挙げられる。ハメリンプール湾の海岸には、シェルビーチと呼ばれる部分がある。これは、4千年前に生存していたもの(*Fragum Erugatum*)で、海水の塩分濃度の上昇と共に死滅し、貝殻だけが海岸に堆積しているものである。貝一つの大きさは直径1 cm ぐらいであるが、堆積層は厚さ8 m、幅30-100 m で数10 km に渡り続いている。表面の方は、手で掬ってもサラサラと崩れ落ちてしまうが、中の方では、結合し、貝の地層(Hamelin Coquina)をなしている。地元の方は、これを建材としてブロックに切りだして(写真4)、積み上げて家を造っている(写真5)。貝のブロックは適当な空隙を持ち、断熱材として働き、気温50°Cにもなる環境から身を守り、快適な生活空間

を提供するのに役立つようである。ただし、外部の者は、採ってはいけないことになっている。しかし、ここで、お土産として求めるなら構わないようである。両手に乗る程のブロックに切っており、他に何の加工もしていないので、観察資料にもってこいである。

4. ハメルンプールの歴史

化石の中から発見されるシアノバクテリア様生物は、35億5千万年前—34億5千万年前のものと推定されている。しかし、ここハメルンプール湾の歴史は浅く、1万年前から形成されたものである。オーストラリアの鉱物資源局のロバートバーンによれば(Burne, 1992)、ハメルンプール湾の環境は、いくつかの理由により、ストロマトライト以外の生物の繁殖を制限してきており、特にハメルンプール湾の周りの、水深が4mより浅いところで、ストロマトライトのために完全な環境を造っているとしている。

ハメルンプール湾の歴史を時間を追って見てみると、まず、1万年前の最後の氷河時代(ウルムⅡ氷期)の終わりには、海水位がずっと低く(-130mから-140m)、ハメルンプール湾の中は乾燥した陸地であった。

7千年前になると、シャークベイ湾の殆どは海水で満たされたが、ハメルンプール湾の入り口は、ファウアシルの堰きで妨げられていた。季節ごとに塩分濃度の変動する池が、ハメルンプール盆地(現在のハメルンプール湾)に形成されていた。当時の気候が、現在より湿っぽかったということを表している。

6千年前になると、ハメルンプール湾は通常と同じ塩分濃度の海水で満たされる。海草がハメルンプール湾の周囲とファウアシルで繁茂し始める。

4千年前になると、海水位は現在より2m程高くなる。そして、ファウアシルは、堆積物により高くなり、外海からの海水の流れを制限してしまう。これにより、塩分濃度が上がり、海草は成長できなくなり、他の生物も制限されてしまった。大量の二枚貝 *Fragum Erugatum* が繁殖し、その貝殻は、広い範囲にわたって海岸に堆積していった。ほぼこの頃、ハメルンプール湾の海水位は、相対的に下がり

始め、ハメルンプール湾の塩分濃度は、通常の海水の2倍(76‰)に上ったのである。

微生物達にとっては、この高塩分濃度の環境は好都合であった。つまり、彼らの主な競争者や補食者は、高塩分濃度の環境に生き残れなかったので、彼らは、マット状の群落の中で安全に繁殖することができたのである。

また、高いカルシウムや炭酸塩濃度は、ストロマトライトを石灰化するのを可能にしている。

遅い沈殿作用は、遅い成長のストロマトライト(1年で0.5mm成長するという記録がある; NHK取材班, 1987)を埋めてしまう程ではなかったので、ストロマトライトは2千年前—3千年前より成長を開始した。そして、彼らは、小さな生命を保護したり、海藻の基質になったり、魚や甲殻類の餌の資源となったりして繁栄する生態系の一部になっているのである。

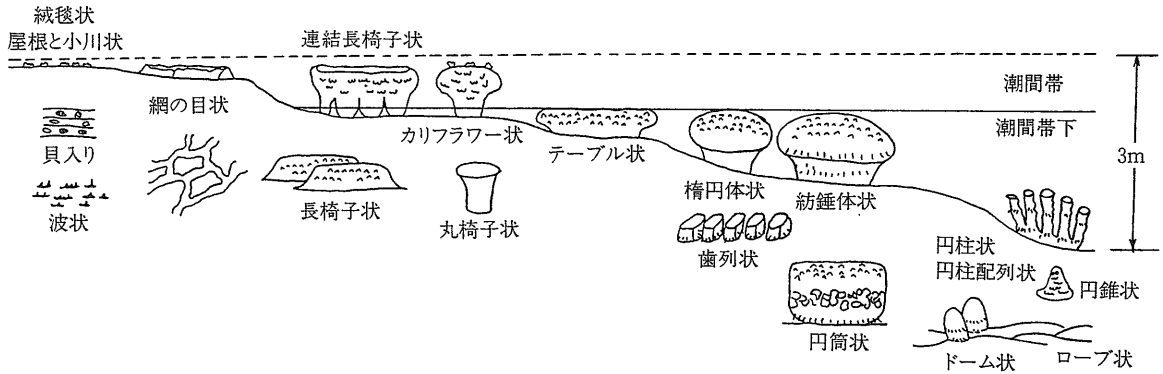
このように、ハメルンプール湾は、ストロマトライトが成長するのに好都合な条件が奇跡的に揃ったところであるといえる。

5. ストロマトライトの形状

ストロマトライトの形状は1種類や2種類ではなく無数にある(第3図)。それは、この形状が周りの様々な環境の影響を強く受けるためであるといえる。

では、一体どのような種類があるのだろうか。例を挙げてみよう。

ハメルンプール湾の東側にグラッドストーンというところがある。国道1号線から西へダートロードを6km程入った地点である。海岸は平坦で広く、冬はキャンプ場になっている。夏は暑すぎてキャンプどころではないようである。そこに栈橋があり、釣り客が釣り糸を垂れている。そして、その北側に、海岸線に沿って、幅100—150m、長さ数km程の砂浜海岸が続いている。この表面は黒く見え、シアノバクテリアが一面切れ目無くマットを造っていて、あたたかも、絨毯のようであるので、絨毯状ストロマトライトと呼んでいる(写真6)。それにしても、キャンプ場の釣り人達は、何の気兼ねもなく絨毯状のマットの上を魚を求めて歩き廻っている。車の轍もはっきりと残っており、一度壊されたマット



第3図 水深とストロマトライトの関係.

は二度と元に戻らないと現地の理解ある人は言っていた。

同じグラッドストンの棧橋の南側には、尾根と小川状ストロマトライト(写真7)が海岸一面にある。これは、棧橋の北側の絨毯状が切れ目無く続いているのに比べ、それに亀裂が入ったようなものと思えば良い。亀裂の方向は、海岸線に対して直角である。では、どうして亀裂が入っているのであろう。実は、これは、亀裂というよりも、潮の満ち引きによって海水が海岸線に対して直角に行き来するので、それに合わせてシアノバクテリアのマットが細長く成長していった結果なのである。そして、尾根というのは、シアノバクテリアのマットの部分、小川というのは、マットとマットの間の砂地の部分を指していて、合わせて尾根と小川状と称しているのである。

場所は変わって、カーブラポイントというところに行ってみよう。

カーブラポイントはグラッドストンの南にあり、やはり国道一号線から、ダートロードを20 km ぐ

らい走ったところにある。ダートロードは夏場は乾燥し、車の後は巻き上げた砂埃で何も見えない。また、路面もガタガタで、積んでる器材が壊れるのではないかと心配であった。周りは、一見、西部劇に出てくる荒野の砂漠風であって、無管理の放置された土地かと思っていると、そうではなく、杭が打たれ、ワイヤーで仕切られた放牧地である。飼っているのはヒツジであるが、ほとんど野放し状態で、夜にはカンガルーも混ざっていて、どっちが家畜なのか分からない。日本のように厳密な管理はしていないようである。その何頭かは、自然の中で、命を全うし、朽ち果てて、自然に戻っていくようである。そんなところなので、本当に、「自然しかない」というのが、素直な表現であろう。

こんな半乾燥地帯の砂漠を抜けて海岸へ出ると、そこには真っ青な海が広がっている。西を見ると水平線、東を見ると地平線である。そして海岸には、

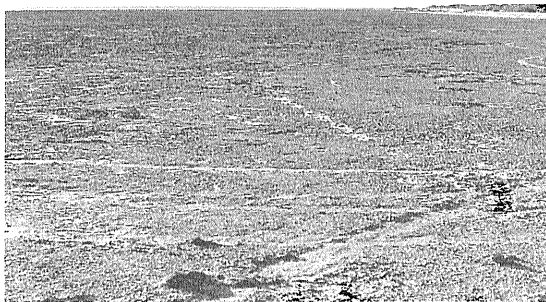


写真6 平坦な海岸を覆う絨毯状ストロマトライト。(グラッドストーンベイ)



写真7 海岸線に直角に伸びる尾根と小川状ストロマトライト。(グラッドストーンベイ)

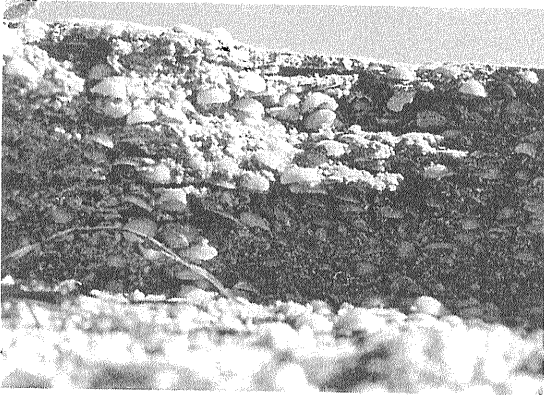


写真8 貝入りストロマトライトの断面。
貝殻の堆積が層をなしているのが分かる。
(カーブラポイント)

ニョキニョキとストロマトライトが生えている(口絵写真1)。

海岸には、4千年前に死滅した、直径1 cm 位の貝(*Fragum erugatum*)などの貝殻が堆積し、シェルビーチを形成している。そして、貝殻は、いまでも海岸に流れ着き沈澱して、堆積している。この貝、文字通り貝の舟であって、貝殻の外側を下に、内側を上にして、海面に浮かんで、ドンブラコ、ドンブラコとやってくるのである。そして、岸に近付くとストロマトライトに当たる波の乱れでバランスを失い、海水を被って沈没するのである。誰かが意図的にやっているように見えるが、全く自然のなせる業なのである。こうして沈んだ貝殻は、海底面にあるシアノバクテリアの柔らかいマットの上に堆積し貝入りストロマトライトを形成するのである。所々に貝入りストロマトライトの断面の路頭を見付けることができる。断面をみてみると、貝殻と砂が層をなしているのが分かる(写真8)。これは、季節により海水位の変動があり、堆積する貝殻の量が変わることによって層構造を造ることを示している。また、現在こうして造られつつある柔らかい貝入りストロマトライトの近くに、硬化し酸化した赤茶けた貝入りストロマトライトが板状に剥がれているところがある。これらは、ハメルンプール湾の淵に貝殻が堆積を始めた4千年前頃からできてきたものと考えられる(写真9)。

カーブラポイントでは、いろいろな形状のストロマトライトが観察されるが、海岸のシェルビーチの丘に立って沖の方をよく見てみると、海の色に変化

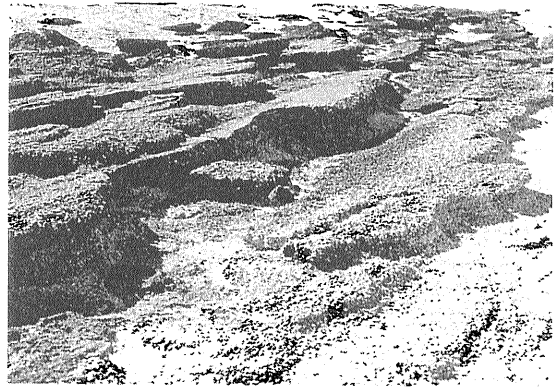


写真9 貝入りストロマトライトの風化酸化したもの。
褐色(暗色部)を呈しているものは Coquinite。

がある。真っ青な海の色に所々茶色っぽいところと、白っぽいところが帯状に伸びているのに気づく。これは一体何か。実はこれ、ストロマトライトと砂なのである。茶色い帯のように見えるところは、海底にストロマトライトが分布しているところであり、白っぽく見えるところは、海底が砂地であることを示している。

さて、これ以上は海岸に立っていても海中の様子は分からない。持ってきたダイビング器材を広げて砂漠地帯でダイビングである。ところで、何となく、いつものダイビングと違うような気がしてならない。車で来たとはいえ、ここまでは、登山かキャンピングの格好と装備をして半乾燥地帯の乾燥から、いかにして、身を守るかに注意を払ってきた。しかし、ここからは、いかにして、海水から身を守るかである。服装も器材もここで一転する。

ダイビング用のウェットスーツを取出し着用する。3点セットと呼ばれる、マスク、シュノーケル、フィンを着用。マスクとは、言葉は古いかもしれないが水中メガネのこと。シュノーケルは呼吸するためのパイプ。フィンヒレの付いた水掻きのことである。そして、カメラも海中専用カメラに切り替える。海中では何かと行動が制限されるので、オートフォーカス機能の付いたものが便利である。アングルを決めてシャッターを押すだけの愛用機は随分と役に立った。しかし、失敗もしてしまった。オートフォーカスの種類で、被写体がある距離になるとシャッターが落ちるという機能があるのだが、どこかで手が触れたのか、知らぬ間にそのモードになってしまっていて、カメラを片手にストロマトライトの

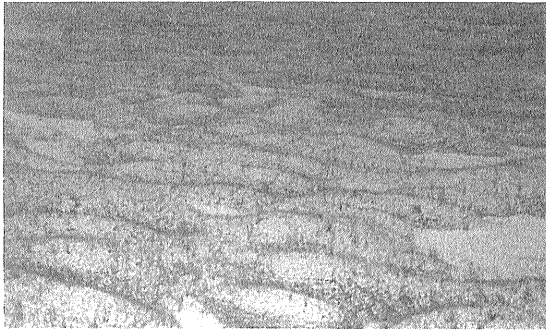


写真10 ロープ状ストロマトライト。
20-30 cm 幅の小丘が潮流方向へ伸びている。
(カブラポイント)



写真11 海藻が側面に生え、横方向の成長を抑えている。
高さ20 cm。水深3 m。(カブラポイント)

ある沖へ泳いでいく途中で海面に焦点が合ってしまったらしく、フィルム1本の殆どが海面の波を撮ってしまった。

しこうして、海に入った私は、その異様な光景に、驚きというよりも恐怖を感じてしまった。海中では物が大きくかつ近く見える。海岸線から沖へ5 m 位までの間には、高さ50 cm、直径2 m 位の円形のテーブル状ストロマトライトが海岸線に沿って並んでいる。さらにそれより先には、丁度あんこの入った饅頭のような直径1 m 程の楕円体状のストロマトライトが、これも海岸線に沿って並んでいる。その先には、形は不揃いで、丸いのやら、長細いのやら色々あって、しかし、全体としてみれば、丸餅や四角い餅を天火の中で焼く時のように並べたような光景が続いている。その先は、少し深く、水深は2 m 位で、一旦ストロマトライトは途切れるが、そこに、ジャンケンときのグーに似たストロマトライトが数か所に林立していたのである。それは、どこかの巨石文化が天変地異により水没し海底都市となったかのようであった。

海岸線から40 m 程のところから海岸から白く見える砂地の部分がある。それをさらに20 m 程行ったところに、高さ30 cm、幅30 cm、長さ2 m 位の小丘が幾重にも重なったところがある。あたかも、何も植えていない野菜畑のような畝が続いている。この長く伸びている方向は潮流の方向と一致している。これはロープ状ストロマトライトである(写真10)。この辺は水深が3 m くらいである。そして、その北側に、ロープ状ストロマトライトの一部が上に向かって膨らんだドーム状ストロマトライトがあ

る(口絵写真2)。ドーム状ストロマトライトの表面は迷路のような皺があり、乳白色をしている。どれも大体の大きさは直径が30 cm 位である。ストロマトライトは成長するときに、隣接するものがあると、接触し結合する性質があるので、物によっては2つのドームが連結しかかっているものもある。

ドーム状から少し離れたところに、円柱が配列状に並んだ円柱配列状ストロマトライトがある(口絵写真3)。円柱の並びは潮流方向と直角である。また、1つ1つの円柱は潮流を正面から受け、上から見ると、潮流方向に細長く伸びている。ここで、一つの疑問にぶつかる。何故円柱が何本も細長く上方へ伸びているのだろうか。先程のドーム状のところの説明したように、隣接するものがあれば、接触結合する性質があったとしたが、それなら、円柱配列状は隣接柱が成長のもっと早い時期にひっついてしまってもいいのではないかと、ということになる。しかし、そうはなっていない。配列状は初め独立した小さな株が偶然潮流方向と直角に複数並んで成長するところから始まる。成長するにしたがって各円柱は潮流方向へ細長く引き伸ばされ上から見ると楕円形になっていく。このとき、実はもう1つの別の作用がストロマトライトに及ぼされるのである。それは、Acetaburialia と呼ばれる海藻である(写真11)。海藻は円柱の側面に生え、海中の浮遊物の接着を制限し、横方向の成長を抑える(止めるわけではない)。しかし、上部表面への浮遊物の沈殿堆積は殆ど制限されないため、相対的に円柱は上方への成長が強調される。つまり、上方へ成長するのである。また、隣接する他の円柱と接触結合しないのは、海藻がほうきのような働きをし、つねに、浮遊

物を振り払っているからであると考えられる。

6. 形態形成の要因

5章において、すでに、ストロマトライトに働いている作用の一部を紹介したが、一部重複するけれどもその他のものを見てみよう。

ストロマトライトは、初めからいきなり立体的な形を造るのではない。最初は砂地などシアノバクテリアが居ないところから始まるのである。第1の段階では、シアノバクテリアの海底への定着が試みられる。これには、2種類の方法が考えられる。1つは石ころや何か重たくて潮流に流されない海底での固定物にシアノバクテリアが着生する方法。もう1つは、砂地の海底に、シアノバクテリアが着生し、潮流に流されないファンデーション(下地マット)を形成する方法である。いずれにしても、これからストロマトライトを造っていくための、潮流に流されない基礎造りが、行なわれるのである。第2の段階では、安定したシアノバクテリアのマットの上に他のシアノバクテリアが着生し上方へと膨れていくのである。第3段階では、全てではないが、海藻 *Acetabularia* が側面に付き上方への成長を強調するようになる[海藻の作用]。第4段階では、潮干帯にあって、夏期、太陽光と、乾燥にさらされるものは、シアノバクテリアが死滅し、灰青色の硬いセメント化部分を作る。このように、ストロマトライトの成長は、砂、ファンデーション、膨張部、セメント化部分という4層構造を基本としているのである[マットの構造と立ち上がり]。ところで、上方へ伸びるストロマトライトはどこまでも伸びるかという点、そうではない。ストロマトライトの成長を受け持つシアノバクテリアは、水分が必要で、乾燥すると細胞が破壊され死んでしまう。このためストロマトライトの上方成長は、海水の干潮線から影響を受け始め、満潮時の海水線が最高位となり、それ以上高くはならないのである[上方成長の制限]。

また、シアノバクテリアは数100 μm 程度なので、殆ど潮流に抵抗することなく、ハメリンプール湾の潮流速度が10 cm/s と遅くても、数100年から数1000年かけて造られるストロマトライトは、潮流方向へ伸びてしまう[潮流方向への伸長]。そし

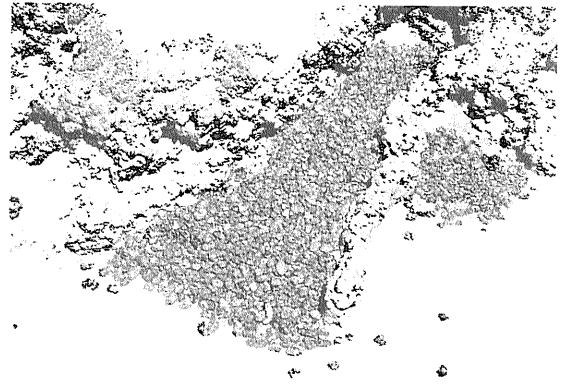


写真12 浸食作用で剥がされた尾根と小川状ストロマトライトの断片。強烈日光に照らされ脱色している。(フラッグポールランディング)

て、そこに隣接する別の個体があると、接触し結合してしまふ。これが、[連結作用]である(口絵写真4)。ストロマトライトの中には、カリフラワーに似たものや、下部がくびれ、上部が風船のように膨れたもの、テーブル状のものなどがある。これらの間には、何の共通性も無いように見られるが、これらは、海水位が毎日変化することと、さらに、季節によって海水位全体が変動することにより、ストロマトライト各部の海水に浸る時間的割合が、それが生えている場所によって異なるために、様々な形状が生まれることにより起こるものである。カリフラワー状は中潮帯にあるもので、満潮時の海水線によって、上方成長の制限が加えられ、成長が横方向へ強制されたものである。上部が風船状のものは、下潮帯にあり、カリフラワーより背は伸びたが、まだ強い強制状態には至っていないものである。テーブル状は、上潮帯にあり、成長初期で早くも、強制が働き、上方への成長よりも、著しく横方向の成長が発達したものである。したがって、これは、[海水位変化の影響]が関与したものといえる。

潮干帯下のストロマトライトを見ていると、全てではないが、いくらかは、北側に傾いているものがある。これは、[太陽方向への傾き]として捉えられている(McNamara, 1993)。ハメリンプールは、南半球の、東経114.2°、南緯26.4°にある。したがって、一年中太陽は北の方向にある。ストロマトライトの表面のシアノバクテリアは、葉緑素を持ち、光合成を行なうために、ストロマトライト上の北寄りの位置に繁殖しようとする。それが数千年維持され



写真13 カリフラワー状の第6段階。中央部は密集し成長限界となっている。手前はまだ成長中のもの。(フラッグポールランディング)

ることにより、全体として、北寄りに傾いたものが形成される。

最後に、[浸食作用]であるが、観察の初めは、そんなものがどこにあるのか分からなかった。それは当然のことで、浸食された場所は失われて消失してしまっているのだから、一見しただけでは分からない。しかし、想像力を働かせることで、少しずつ見えてくる。

尾根と小川状の付近に色あせた褐色のゴムの塊のようなものが散乱している。手のひらに乗る程で、軽く、シュークリームのような皮のようである(写真12)。この皮の厚さは5mm前後、それを両側から引っ張って裂いてみると、皮の中層に黄緑色の層がみえる。これはシアノバクテリアが集まって葉緑素が層になって見える部分である。この塊は実は、尾根と小川状ストロマトライトが潮流によって引き剥がされ、波間や砂地に漂い集められたものである。中には、塊の一部がまだ尾根と小川状の本体に繋がっていて、切り離されつつあるものもある。

ハメリンプール湾にはシアノバクテリア以外の生物は殆どいないが、全くいないわけではない。ロングトムと呼ばれる体長1m程の魚や尾びれの先が黒く全体は白っぽい体長10cm程の魚などが棲息している。この中でハゼの仲間と思われるものは、ストロマトライトの表面に穴を明け、住みかにしてい

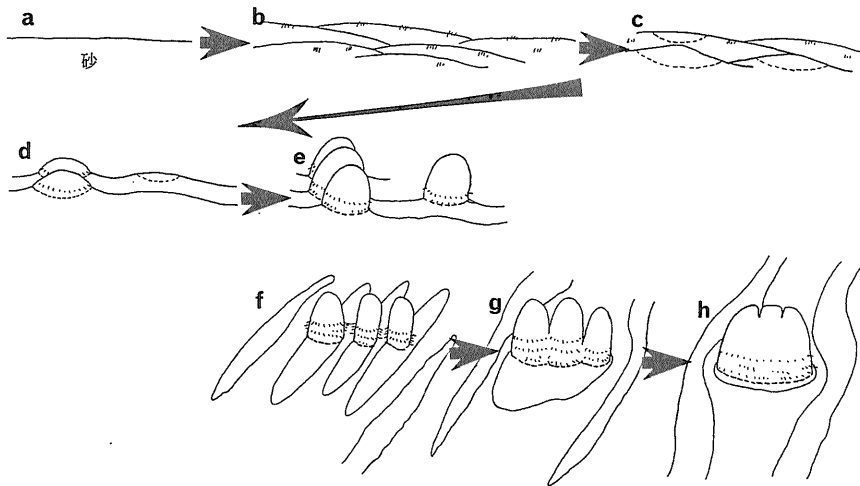
るものがある。穴の直径は1cm程。これもストロマトライトからすれば、浸食の一つであろう。

そうは言っても、魚による浸食行為は、全体からすれば微々たるものである。それに対してヒトによる浸食はややもすればストロマトライトに壊滅的な被害をもたらすかもしれない。先に挙げたグラッドストンの絨毯状の棲息地では、海岸がキャンプ場ということもあって、ヒトが歩き廻ったり、車で走り廻ったりと自然が数百年あるいは、数千年かかって造ったものを一瞬にかつ大量に壊してしまう行為をいともたやすく行なってしまう。また、海上よりモーターボートで来てスクリューでストロマトライトを削り取ってしまうこともあるようである。

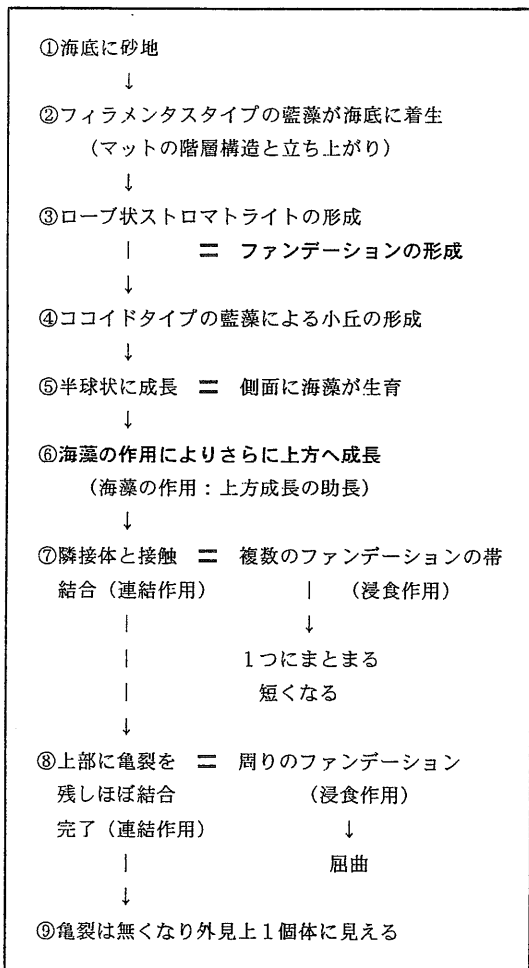
7. 形状の変化

6章で示した要因が各ストロマトライトに複合的に働いていると考えられる。そして、形状と作用を総合的に考えてみると、バラバラだったストロマトライトの形状につながりのあることが見えてくる。

ここで、形状の変化には2つの見方がある。1つは、あるストロマトライトの時間的変化つまり[経時変化]である。経時変化では、時間と共にストロマトライトが成長し、環境のいろいろな作用を受けて形状が変化していく様を捉えるものである。もう



第4図 ドーム状ストロマトライトの形状変化.



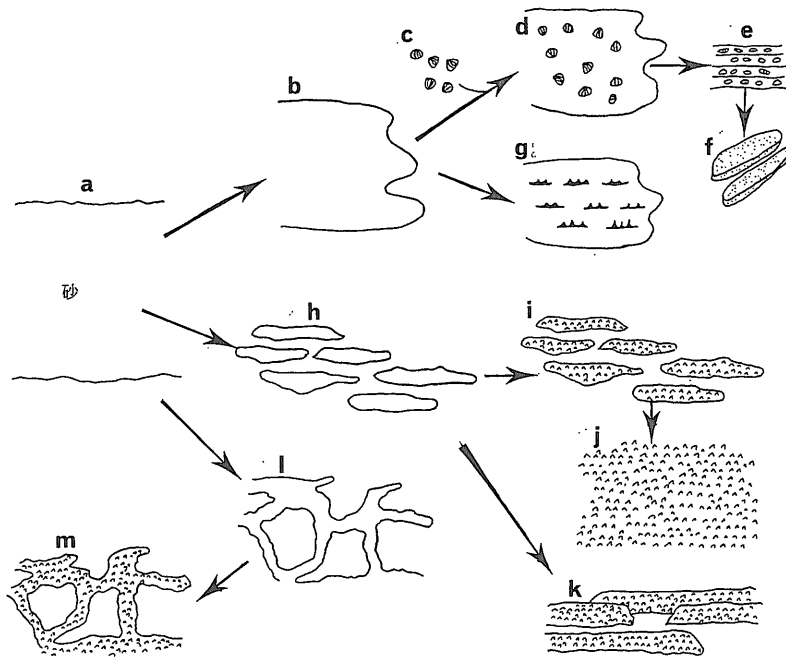
第5図 ドーム状ストロマトライトの形状変化過程のフローチャート.

1つは、同種の基本的な形状を持ちながら、環境が異なるために表面的には異なる形状を示すものである。これを[環境変化]とすることにしよう。

経時変化の例では、カリフラワー状とドーム状の系統がある。ストロマトライトの成長は切れ目なく続いているので、明確に区切ることはできないが、便宜上、カリフラワー状では、その成長を6段階に分けて考えることができる。段階を追う毎にその大きさが大きくなるが、第1段階では、 $3 \times 2 - 10 \times 8 \times 7$ H(cm)と小さく、隣接する他の個体との間隔もかなりあり、単独での成長が行なわれる。しかし、第6段階では、 $70 \times 70 - 100 \times 100 \times 50$ H(cm)となり、隣接する個体も同様に成長するため、接触結合が連鎖的に起こり、海水の入る隙間さえなく、海岸の一部にストロマトライトによる陸地を形成してしまう。これによってシアノバクテリアは死んでしまい、ストロマトライトの成長は停止してしまう。つまり、成長限界ということである(写真13)。

ドーム状は、潮干帯下にあるため、大気にさらされることはない。ドーム状はロープ状と呼ばれるファンデーションの表面に丸いお碗を伏せたような小丘を造る。この小丘が時間と共に上方へ餅が膨らむように膨れていく。そして、カリフラワー状と同様に、隣接個体があると接触結合し、連結個体を造っていく。(第4, 5図)

これに対し、環境変化では、平坦、円筒状、配列状の系統がある。



第6図 平坦ストロマトライト系.

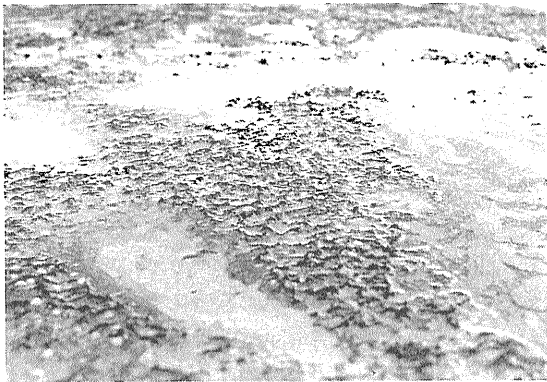


写真14 波状ストロマトライト.
(ブレイフォードランディング)

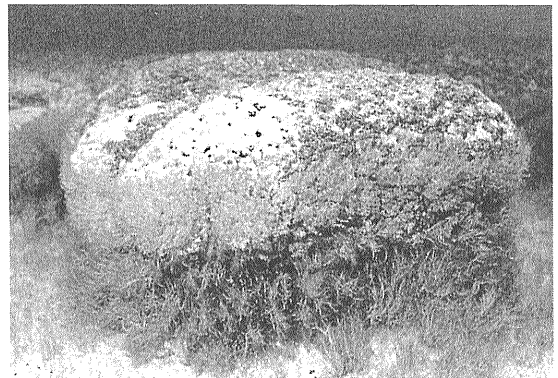


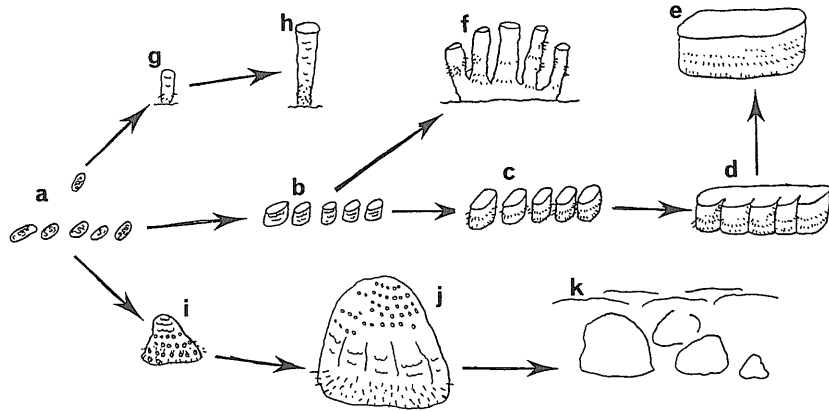
写真15 紡錘体状ストロマトライト.
(カーブラポイント)

平坦系では、文字通り平坦であって、マットに、貝殻が混入したり、別種のシアノバクテリアが波状の突起を造ったりする(写真14)。あるいは、上潮帯では、背の低い、尾根と小川状ができるが、少し水深のあるところでは、尾根の高さが高くなり、長椅子状になったりする。(第6図)

円筒状系では、水深1-1.5mのところでは、直径1.2-1.5mの楕円体状の形状を見せるが、もっと浅いところでは、楕円体がもっと押しつぶされたような、直径1.5-2mのテーブル状になる(口絵写真

5)。楕円体状が潮流の影響を受け細長く伸びてしまったものは、紡錘体状である(写真15)。紡錘体状が隣接個体と接触結合すると、大型の楕円体状が形成される(写真16)。

配列状では、水深1m程度のところでは、あまり高さが無く、歯が並んでいるように見えるので、これを歯列状と名付けた(写真17)。初めは、歯列状のそれぞれの個体は独立して成長するが、次第に大きくなると、これまでのものと同様に隣のものと同様に接触結合してしまう。さらに、水深が3-4mにな



第7図 配列状ストロマトライト系.

ると配列状の各個体は、歯列状よりも上方へ伸び、全体として、円柱配列状を形成する。

個体が1つしかない場合を、配列状の特殊化したものとして考えるならば、1本の円柱状、または、円錐状ストロマトライトを考察することができる(第7図)。

8. あとがき

これまで見てきたように、5分程のストロマトライト見学では、なかなかこれだけのことは分からないかも知れない。しかし、よく見てみると、いろいろとおもしろいことが見えてきて、自然の力に驚き、感心させられることがある。読者の皆さんも、この記事に目を通してからストロマトライトを見れば、よりストロマトライトへの理解が深まることと思われる(NHK取材班, 1987および1988)。

そして、現生ストロマトライトの形状を研究することによって、その形成過程が明らかになれば、化石のストロマトライトを研究したときに、それが形成された時代の地球の古環境を知る手掛かりとなるのである。

最後に、自然保護の立場から、ストロマトライトの観察の仕方を述べておこう。

(1) シアノバクテリアの見分け方.

陸上でも海底でも、シアノバクテリアがマットを造っているところは、柔らかく弾力性のあるスポンジ状である。手の指の腹で軽く押してみるとパンのように一端へこみ、指を離すとゆっくりと元に戻ってくる。こんな感じのところはシアノバクテリアの

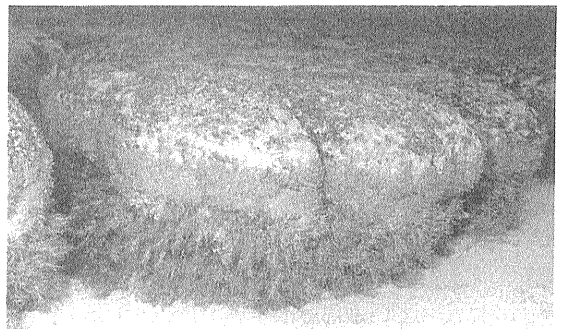


写真16 紡錐体状が連結してできつつある楕円体状ストロマトライト。(カーブラポイント)

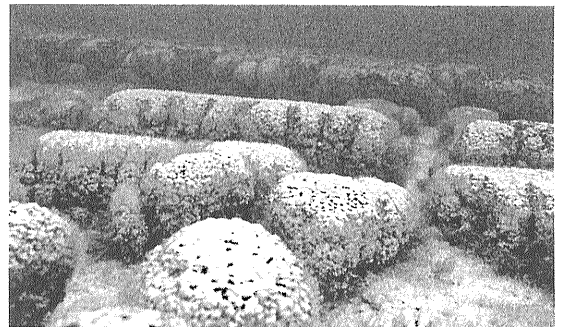


写真17 歯の並びに似た、歯列状ストロマトライト。(カーブラポイント)

マットである。そして、シアノバクテリアのいない砂の部分は、リップルが付いている。リップルは海水の満ち引きによって、砂地に付ける波状の波紋のことで、一目で判別できる。また、砂の部分で平らなところもあるが、指の腹で軽く掬ってみると砂ならば簡単に掘れてしまうが、マットであれば、しっ



写真18 干潮時に露出したストロマトライト。
 上部のコンクリート化した部分と、酸化した部
 分は硬く、上を歩いても良い。それ以外は注意。

かりと着生しているため、取れないのですぐに判別
 できる。

(2) ストロマトライト棲息地の歩き方。

マットのあるところでは、(1)のように砂かマッ
 トかを識別して砂のところを歩けば良い。これと違っ
 て、潮干帯でストロマトライトの上を歩く時には、
 酸化して赤茶けた部分と、セメント化して比較的
 ツルツルになっている部分は歩いて良い。しかし、そ
 のようなストロマトライトの側面には、まだ、生き
 ている柔らかいマットが付いていることがあるので
 注意が必要である(写真18)。

不注意にマットを傷めたり、削いでしまったりす
 ると、自然はなかなか元に戻してくれない。1年に
 0.5 mm しか成長しないストロマトライトだから、
 1足で5 cm も傷付けてしまうと、再生するのに
 100年はかかることになる。

大切な自然を守りましょう。

謝 辞：この原稿は放送大学で、濱田先生にご指導
 いただいた卒業研究(伊津野, 1994)の一部をまと

めたものです。終始多大な助言を頂いた濱田隆士先
 生(放送大学教授)に深く感謝いたします。

文 献

Burne, Robert V. (1992): Liliput's castles stromatolites of Hamelin Pool. *Landscape*, vol. 7, no. 2, summer edition, Department of Conservation and Land Management, Western Australia, 34-40.

Cowen, Richard 著, 濱田隆士訳(1986): 生命の歴史進化のドラマ33億年. サイエンス社, 23-26.

藤田善彦・大城 香(1993): 藍藻という生きもの. 東京大学出版会

濱田隆士(1991): 動物たちの地球. 朝日百科, 23, 59-61.

伊津野郡平(1994): ハメルンプールにおける現生ストロマトライトの形態形成について. 放送大学卒業論文

McNamara, Ken (1993): Stromatolites. *Western Australian Museum*.

NHK 取材班(1987): 地球だけが持つ酸素の神秘. 地球大紀行2, 日本放送協会, 7-23.

NHK 取材班(1988): 新地球物語 1. 日本放送出版協会, 99-142. さらに詳しく知りたい方に,

Berry, P. F., Bradshaw, S. D. and Wilson, B. R. (1990): Research in Shark Bay. *Western Australian Museum*, 325p.

Golubic, Stjepko (1976): Chapter4.1 Organisms of the build stromatolites. In *Stromatolites*, ed. M. R. Walter, p. 113-126.

Golubic, Stjepko (1976): Chapter4.2 Taxonomy of extant stromatolite-building cyanophytes. In *Stromatolites*, ed. M. R. Walter, 127-140.

Hoffman, Paul (1976): Chapter 6.1 Stromatolite morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. In *Stromatolites*, ed. M. R. Walter, 261-271.

Playford, P. E. and Cockbain, A. E. (1976): Chapter 8.2, Modern algal stromatolites at Hamelin Pool, a hypersaline barred basin in Shark Bay, Western Australia. In *Stromatolites*, ed. M. R. Walter, 389-411.

IZUNO Gumpei (1995): Morphogenesis of modern stromatolites in Hamelin Pool, Western Australia.

<受付：1995年3月13日>