

第142回沖縄問題研究会

# 陸が変われば海も変わる

## 開発行為に伴うサンゴ礁環境の変化

沖縄協会主催の第142回沖縄問題研究会は、平成15年2月19日、沖縄協会会議室で開催され、国土館大学教授の長谷川 均氏が「陸が変われば海も変わる 開発行為に伴うサンゴ礁環境の変化」と題して講演を行った。ここに質疑・応答を含む同研究会の全体をまとめ、大方の参考に供することとした。

### 長谷川 均 氏

( 国土館大学教授 )



はせがわ ひとし 1953年新潟県生まれ。1985年国土館大学文学部史学地理学科地理学専攻非常勤講師(地理学実習・地形学・リモートセンシング・地質学), 1986年法政大学経済学部第一教養部非常勤講師(地学), 1988年国土館大学文学部史学地理学科地理学専攻専任講師(地理学実習・地形学・リモートセンシング・課題研究・計量地理入門を担当), 1994年国土館大学文学部史学地理学科地理学専攻助教授, 2000年国土館大学文学部史学地理学科地理学専攻教授。この間、法政大学、三重大学、和光大学、駒澤大学、日本大学で非常勤講師を務める。

### はじめに

国土館大学地理学教室の長谷川です。はじめに私と沖縄との関わりについてお話したいと思います。1981年に当時外間守善先生が所長をされておりました法政大学沖縄文化研究所で「沖縄・久米島総合調査」を企画されました。この時は、歴史、民俗、経済、社会などあらゆる分野の先生方が調査団を組んで久米島に3年間ほど入りました。当時私は地理学専攻の大学院生でしたが、「助手として連れていってもらえないだろ

うか」と頼みまして、二人助手のうちの一として沖縄にまいりました。

それ以前の私は、北海道やハワイなどの寒い所の地形を調査しておりました。ハワイといいますが、「常夏の島」というイメージが強いと思いますが、ハワイの中には高い山が幾つもあります。その中には富士山より高い山もあります。その山では雪も降りますし、今から何万年か前には氷河があった島もハワイにあります。こういう所では真夏になりましても気温が0を下回り、立派な霜柱が立ちます。このような所の地

形を研究していました。「沖縄に連れて行ってほしい」とお願いした時ですが、「亜熱帯や熱帯の経験が無いではないか」と言われました。そこで私は、「ハワイで調査をしておりました」と言いましてどうか助手に加えていただいたのです。「沖縄・久米島総合調査」以降は、暖かい所の地形ばかりを調査しております。

1989年以降は、主に石垣島を中心にフィールドワークを行っております。現在の専門はサンゴ礁環境の保全です。私の名刺に印刷されております「リモートセンシング」とは、人工衛星で観測されたデータを用いて地球環境の変化を探る、あるいは地球の表面の状態を探るといった技術分野です。同じく名刺に印刷されております「GIS」とは、地理情報システムといいまして、地図をデジタル化し、それを様々な手法を使って解析する研究分野です。最近ではあらゆる産業や学問分野にGISが取り込まれておりますが、私は環境保全の分野でGISを使った仕事を幾つかしております。

## 地球環境問題とサンゴ礁

1990年代に入りましてサンゴ礁研究は、ちょっとしたブームになりました。どのような研究者がサンゴ礁研究を行っているのかをお話したいと思います。まず地理学、これは私が所属している分野の研究者です。古くは地質学、日本では地質学の研究者がいちばんサンゴ礁研究に取り組んできたのではないのでしょうか。そのほかにも生物学や生態学の人たちは、生物としてのサンゴを扱っています。最近では工学、化学、物理学の人たちも熱心です。化学や薬学の分野はサンゴ礁の多様な生態系の中で新しい薬の材料になるようなものを見つける研究をされております。以上はサンゴ礁研究に携わる自然科学の分野ですが、現在では人文科学を含めたほとんどすべての学問分野で、サンゴ礁、サンゴ礁地域、造礁サンゴが研究対象になっています。

20世紀の末になってサンゴ礁研究が注目された理由ですが、地球環境問題が大きくクローズアップされてきたことと無関係ではありません。サンゴがマスコミに取り上げられる例が幾つかあります。毎年6月、7月、8月になりますと、満月の夜にサンゴが産卵する

ことが必ずといっていいほど新聞やテレビに出てきます。

また、サンゴ礁が二酸化炭素を吸収するのではないかと話題にのぼったことが20世紀末にありました。原油製品など化石燃料の消費が大気中の二酸化炭素を増加させます。その他の原因も重なって地球は温暖化します。温暖化により海面が上昇してサンゴ礁の島は沈んでしまいます。ところが、サンゴ礁は過去に膨大な二酸化炭素を固定して石灰岩を作りました。セメントの材料として使われている石灰岩は、かつて大気の中にあつた二酸化炭素が海中に溶け込み、それがサンゴ礁によって固定されてできたものです。大気の組成がサンゴによって変わったために生物が生きることができました。人間をはじめとする動物の命が生まれたのは、大変な量の二酸化炭素がサンゴによって岩石に変えられ、大気の組成が変わったからであるという過去の事実があります。現在、地球温暖化で問題になっている二酸化炭素もいずれはサンゴが吸収してくれるのではないかと期待を持った人たちがいました。それでいろいろなところでお金が付いて、サンゴ礁研究がブームになったといういきさつがあります。

ところが、サンゴは共生している生物が光合成を行う訳ですが、サンゴは二酸化炭素を吸い込みますが、同時に吐き出しています。そうしますと、吸収する二酸化炭素の量と吐き出す二酸化炭素の量のどちらが多いかということになります。たくさんの方が様々な方法で調べました。ところが、どちらが多いのかよくわからないのです。ある人が測定すると吐き出す方が多いという結果が出て、またある人が測定すると吸収する方が多いという結果が出ました。結論は出ていませんが、恐らく吐き出す方が多いのではないかと考えています。いずれにしても現在のサンゴ礁やサンゴは直面している地球温暖化問題の解決には、まったく貢献しないと思います。

現在、地球温暖化がどんどん進んでいます。100年後に最大の見積もりで海面が90cmほど上昇すると予測されています。その場合、サンゴ礁の島々が沈んでしまうのではないかとわれています。沈まないまでも高波の影響を受けやすくなってしまいうでしょう。我々

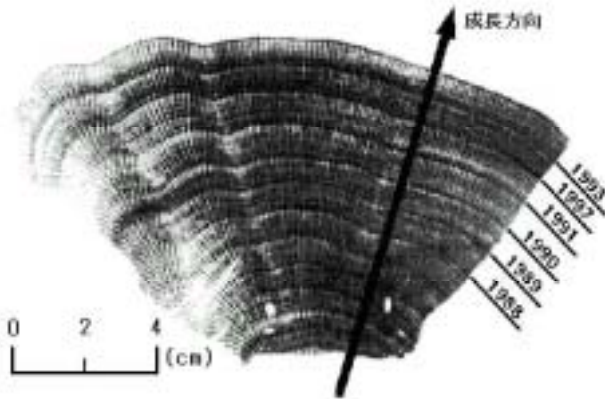


図1 造礁サンゴの年輪  
(国土館大学地理学教室卒業論文より)

はこの問題を避けては通れません。このままのペースで温暖化が進みますと、沖縄でも幾つかのサンゴ洲島が沈んでしまうことは確実です。温暖化で世界中のサンゴが白化して死滅するのではないかという問題もあります。1998年のエルニーニョの年に世界中の造礁サンゴが白くなって死んでしまいました。温暖化で海水温が上昇することが予想されますが、そうなると現在分布している地域でのサンゴ礁の有り様が大きく変わることが予想されます。逆にいえば、現在サンゴが分布していない所に新しくサンゴ礁ができる可能性も無くはありませんが、以上の理由でサンゴ礁やサンゴが地球環境問題絡みで注目されてきたのではないかと思います。

図1をご覧ください。これは握り拳大のハマサンゴです。薄くスライスしてレントゲン写真を撮りました。図のように年輪が刻まれています。正確には年縞(ねんこう)といいます。このサンゴは1994年に採取したものです。このサンゴが岩盤に着礁したのが恐らく1982~1983年ではないかと思えます。1年に1cmくらいの割合で大きくなったこととなります。サンゴは海の中の精密な記録計の役割を果たします。X線で見える年輪から成長速度が推定できますが、そこから逆算しますと年代がわかってきます。わかった年代の骨格を削って分析すると、海水の成分や過去の海水温度がわかります。海水温度は0.1~0.2度の精度でわかります。サンゴは100年や200年は簡単に生きています。沖縄でも200年もののサンゴが珍しくありません。それらを調査し

ますと200年間の海水温度が0.1~0.2度の精度で求められることとなります。

一方で骨格の成分を分析することによって、海水の成分や海水への陸上からの影響などを推定することができます。サンゴ礁のサンゴを分析しますと、40~50年前の原水爆実験の様子も記録されております。現在生きているサンゴからは200年~300年しか迎れませんが、地層の中に残っている古いサンゴを分析すると、限度はありますが、過去の地球環境も調べることができます。以上のようにサンゴは非常に重要な役目を負ってきているということが出来ます。

次に現在のサンゴ礁の話をしてしたいと思います。造礁サンゴの生息条件ですが、沖縄は分布の限界域に当たります。そのことが複雑な地形と相まって多様なサンゴ礁を作っています。そこには多様な生態系ができます。沖縄のサンゴ礁、あるいはサンゴ礁の生態系は、グレートバリアリーフのサンゴ礁と遜色ないほど複雑で多様性を持っていることがいわれています。現在のサンゴ礁を作っているサンゴの生息条件は、最寒月の平均海水温が平均19度以上です。1月、2月の海水温が19度くらいあればサンゴ礁を作っているサンゴは生きていけます。従って、サンゴ礁はありませんが、サンゴ礁を作っているサンゴと同じ種類のサンゴは東京湾でも生きています。三宅島にも伊豆大島にもあります。太陽の光が届く浅い海、透明度の高い海にサンゴ礁を作るサンゴは生きています。

サンゴが苦手な環境ですが、海水温が高すぎてもサンゴは生きていけません。暖かければいいだろうというものではないのです。寒すぎてもだめです。淡水が流れ込む所もだめです。アマゾン川の河口にはサンゴ礁はできておりません。サンゴは紫外線に弱く、濁りと汚れにも弱いのです。環境が悪くなるとサンゴは簡単に弱って死んでしまいます。天敵は人間とオニヒトデです。

## 沖縄のサンゴ礁の特徴

次に沖縄のサンゴ礁の特徴について述べてみます。図2をご覧ください。数字の多い所ほど造礁サンゴの種類が多い場所とお考え下さい。数字そのものは、相対



図2 造礁サンゴ多様性の分布  
(Wells, J. W. 1957より)

的な大きさとお考え下さい。「50」というラインはインドネシア、フィリピン、ボルネオの辺りを囲んでいます。あと紅海、インド洋の辺りも囲んでいます。太平洋の東側や大西洋には「50」のような大きな数字はありません。「50」のラインはフィリピンの北側の琉球列島にかかっています。グレートバリアリーフは数字でいうと「40」「30」「20」となります。沖縄の造礁サンゴの種類そのものは、グレートバリアリーフに匹敵するか、あるいはそれ以上ということになります。沖縄の方が多いいということがいえるかもしれません。

「50」のラインが日本列島に向かって上がっているのは、黒潮の影響です。暖かい海流の影響で、日本付近ではサンゴ礁の分布の限界が北の方に上がっています。同じ緯度の太平洋の反対側をみますと、カリフォルニアと奄美、沖縄の緯度はほとんど同じになりますが、サンゴ礁はありません。グレートバリアリーフの反対側の南米側にもサンゴ礁はありません。それは冷たい海流が南から北へ北から南に流れているからです。アマゾン川の河口の大量に淡水が流れ込む海域にもサンゴ礁は形成されておられません。同じ緯度帯にあってもこのような違いがみられます。この図をみても沖縄は面白そうな場所にあり、サンゴ礁の分布の限界域にあるということがわかりただけだと思います。

次にサンゴ礁のでき方について話をします。サンゴ礁の砂浜は白いですが、これはすべて生物の遺骸からできています。ですから、塩酸や硫酸をかければ簡単に溶けてしまいます。それが本土の砂浜とは決定的に違うところです。

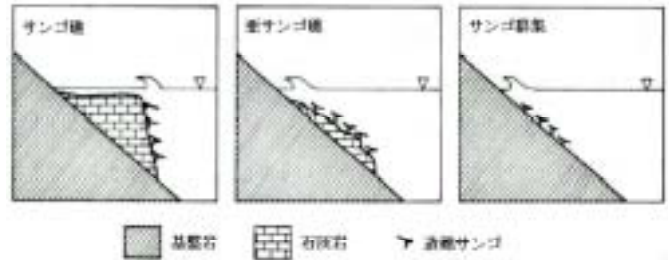


図3 サンゴ礁とサンゴ群集 (中井1990より)

図3をご覧ください。沖縄の地形は、一番左の図になります。基盤岩の外側に石灰岩の土台があります。この石灰岩は、サンゴ礁生物の死骸が固まったものです。沖縄の砂浜を作っているのと同じものが固まってサンゴ礁の土台になっています。つまり「土台のサンゴ礁」ということになります。三宅島などの場合は、真ん中の図になります。これを「サンゴ群集」といいます。基盤岩の上をサンゴが覆っていますが、その下には石灰岩の土台がありません。一見するとサンゴ礁のように見えますが、これはサンゴ礁といいません。高知県の海にも立派な造礁サンゴがみられますが、その下にある岩盤は基盤岩の泥岩という泥が固まった岩石です。沖縄の造礁サンゴの下をドリルで掘ってみますと立派な石灰岩ができています。こういう違いがあるのです。

日本のサンゴ礁は「裾礁(きょしょう)」というタイプのサンゴ礁です。麦藁帽子の頭の入る部分が島だとしますと、その回りを取り囲む鍔のようにできているサンゴ礁を裾礁といいます。観光パンフレットやガイドブックを見ますと、「与論島は環礁」と説明が出ていたりしますが、与論島も沖縄本島と同じ裾礁タイプのサンゴ礁です。環礁というのは、湖のような真ん中の礁湖の深さが20~30mあることが条件です。従って与論島のサンゴ礁を環礁とは言いません。沖縄のサンゴ礁はほとんど裾礁タイプと思って下さい。

日本のサンゴ礁と南太平洋のサンゴ礁の違いですが、図4をご覧ください。これが日本の裾礁タイプのサンゴ礁の図です。砂浜から沖合のリーフまではせいぜい1kmくらいです。その間の海はイノーといいます。水深2~3m、最大でも5m程度の深さです。潮がひけばイノーの中のワタンジを通して、沖合のリーフ(ピシ)まで行き来することができます。その先は30~40

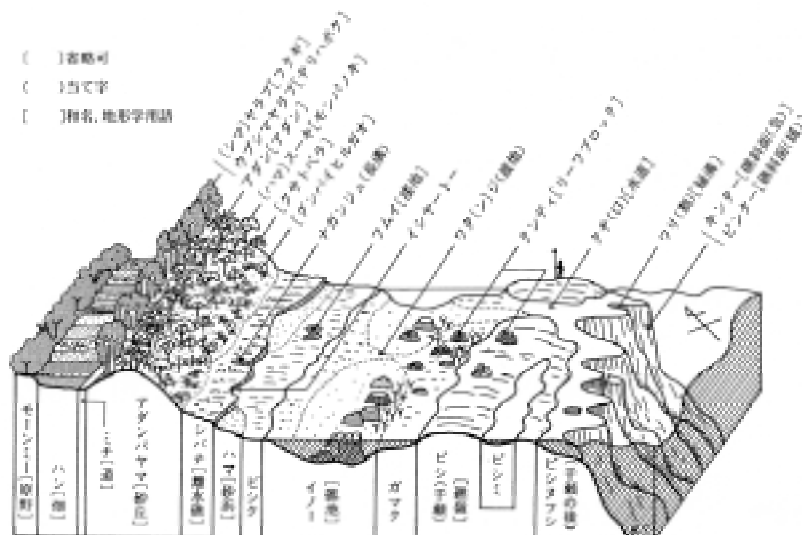


図4 日本の典型的なサンゴ礁海岸  
(高田・渡久地原図)

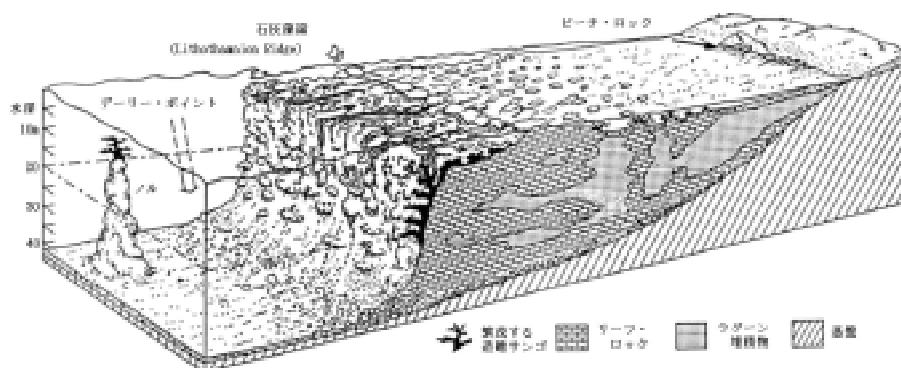


図5 サンゴ礁の構造 (氏家, 1990年)

mと深くなっておりますが、少なくとも沖合500mから1kmくらいまでは干潮の時であれば人が歩いて行けます。それが日本のサンゴ礁です。サンゴ礁の地形にそれぞれ名前が付いています。固有名詞が付いている場合もあります。このように人々と密接に関わっているのが沖縄のサンゴ礁の特徴です。

オーストラリアに行って、「サンゴ礁で泳いでみたい」といっても、半日くらい船に乗って100kmくらい沖合に行き、ようやく「さあ、泳いで下さい」となるのがグレートバリアリーフのサンゴ礁です。ですから、人々とサンゴ礁の付き合いが昔からあったということは有り得ません。沖縄や奄美のサンゴ礁は、そこから

おかずを自由にとって来たりすることができるという意味も含めて、人々の暮らしの中にサンゴ礁の海が密接に関わっています。これが、沖縄のサンゴ礁とグレートバリアリーフのサンゴ礁の決定的な違いです。

日本のサンゴ礁は黒潮が作っています。赤道付近から発する黒潮が暖かい海水を運んできてサンゴ礁を作っています。従来、サンゴ礁の北限は種子島の辺りと考えられておりましたが、最近では長崎の辺りまでサンゴ礁があるのではないかと考えられています。小笠原諸島では父島の辺りが日本のサンゴ礁の北限になるうかと思われています。

図5をご覧ください。ピシまでは人間が歩いて行けま

す。安全で浅くてアプローチしやすい海が広がっております。逆に言えば、開発しやすい海といえるかもしれませんが、沖縄本島の南部ではこうした所が埋め立てられてしまいましたが、それは人間との結びつきが深かった故に、簡単にアプローチされ埋め立てられてしまったといえるかもしれません。

このサンゴ礁の土台の深さはどれくらいあるかといえますと、一番深い所で30～40mです。従って、海面が現在より30～40m低かった時代に現在のサンゴ礁のサンゴが付きはじめて、海面がどんどん上がってくるにしたがって、サンゴ礁も上に沖にと成長して行って、このような構造ができ上がったと考えられております。それではそれはいつのことなのかという話になります。

### 沖縄の「陸域」はどのように変わってきたのか

地球の海面は目まぐるしく上がったり下がったりしています。図6をご覧ください。横のラインは0mで、現在の海面の高さです。横軸が年代を表しています。「4」というのは4千年前、「8」というのは8千年前です。6千年くらい前に、現在より2～4m海面が高かった時代があります。6千年前といいますと縄文時代です。従って東京の大部分は浅い海の底でした。「20」は2万年前です。最終氷期は一番新しい氷期ですが、この頃は現在より海面が120～130m低かったのです。現在水深120～130mの部分は当時陸地でした。その当時もちろん日本にも人間は生きております。当時の地形を復元しますと、日本海は大陸と陸続きになっていました。ですから2万年前の最終氷期の頃は、日本と大陸は比較的簡単に行き来ができました。朝鮮半島を通して陸橋を通して大陸の動物がやってきたのはこの時代です。我々の祖先に当たる人たちが大陸からやって来たのもこの時代です。

ところが、その後気温が上がってきますと陸に溜まっていた2,000～3,000mの氷が溶けて海に排出され、海面がどんどん上がってきます。2万年前の氷は陸地の30%を覆っていました。ニューヨークの辺りは2,000～3,000mの氷の下です。ヨーロッパも、スカンジナ

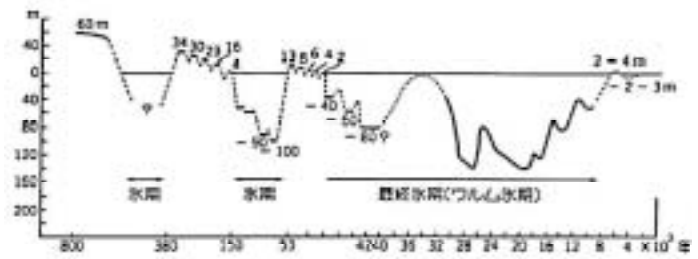


図6 現在のサンゴ礁は1.5万年前頃からではじめた

ビア半島、イングランド、フランスの北の辺りから2,000～3,000mの氷に覆われていました。それらの氷が溶けて水深が上がってきます。そして水深40mくらいになった時に現在の沖縄でサンゴが付きはじめました。

海面が120～130mのレベルからどんどん上がってきて、気温も上がり、最寒月の海水温が19度くらいになった時に沖縄でサンゴが付きはじめたのです。さらに海面が上がってくるに従って、それに追いつくようにサンゴも成長して行って現在のサンゴ礁ができました。ですから、現在の沖縄のサンゴ礁は、2万年くらい前からではじめたということになります。6千年前は海面が高かったという話をしましたが、この頃は東京湾の館山にも小規模なサンゴ礁ができていたことが知られております。現地に行きますとサンゴの化石がたくさんできます。

### 沖縄のサンゴ礁は危機的な状況にあるのか

サンゴ礁の多様な生態系がどのような原因で壊されていくのでしょうか。石垣島を例にお話します。現在の沖縄の中で最も広い範囲にわたって、健全なサンゴ礁環境があるのが石垣島です。ダイビングスポットは、慶良間をはじめとする沖縄本島周辺の島々にもたくさんあります。素晴らしいサンゴが生きておりますが、沖縄の典型的な裾礁タイプのサンゴ礁で、幅広い海域に健全なサンゴ礁が残っているのは石垣島だけといってもいいでしょう。

図7をご覧ください。石垣島を斜め上空から見下ろしたと仮定して作成した図です。元は人工衛星が上空700



図7 サンゴ礁島

kmから観測した数字をコンピュータで処理して画像に直したものに、デジタル標高地図を重ねて作成しました。色が濃くなっている部分が森林地帯です。色が薄く見える部分が市街地や畑として耕作されている部分、植生がはがされ草地になっている部分です。この薄い色の部分は、人の手が入っている所と考えて下さい。石垣島に行きますと緑豊かな美しい島という印象を受けますが、画像を解析してみると島の台地や平地の部分はすべて人の手が入っていることがわかります。

表1ご覧下さい。サンゴ礁の多様な生態系がどういふ原因で損なわれているのかを表にしました。サンゴ礁は海洋の生態系のうちで最も生産的で変化に富んでいる場所です。すべての魚類の3分の1は、サンゴ礁を生息場所としているといわれています。しかし、さまざまな人間活動によって破壊の脅威にさらされています。

図8ご覧下さい。1989年から我々は5年ごとに石垣島の全域で生きているサンゴがどれくらいの割合でいるのかを調査しました。今では環境省がこの仕事を引き継いでいます。石垣島周辺の着礁可能な岩盤に占める、生きたサンゴの割合を調べました。サンゴ礁の健全度を計った訳です。1999年の結果が出ておりますが、これはあまりあてになりません。1998年にご存じの白化現象が起こってサンゴが一斉に死んでしまったからです。ここでは、1989年と1994年を比べてみることにします。

これらの調査を通じてわかったことは、集落の前面

	沈泥の堆積	漁業	化学物質	砂の浚渫物	家庭廃棄物	鉱業	核廃棄物	骨董品売買	油	観光
インド-太平洋	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
南アジア	○		○	○	○	○		○		
東南アジア	○	○	○	○	○	○		○	○	○
東アジア	○	○	○	○		○		○		
中東	○	○	○	○				○	○	
カリブ海帯	○	○	○		○		○	○	○	○

表1 サンゴ礁多様な生態系の崩壊 (E.ゴールドスミス編1990より)



図8 生サンゴ被覆度10年間の変化 (WWFジャパン作成)

の海や土地改良の進んだ前面の海では、生きたサンゴの被覆率の割合が小さくなっていることがわかりました。それを確かめるために1999年に調査を行いました。その前年に世界中で造礁サンゴの白化が起きてしまいました。泳いでいますと全面見渡す限りサンゴが真っ白になってしまいました。非常に悲惨な状態です。1998年はエルニーニョの年です。南米の沖合で高温域が発生し、世界中で高海水温域(ホットスポット)が出現し、その海域のサンゴが白くなって死んでしまいました。浅瀬に生息し、高温に強いハマサンゴなどもすべて白くなってしまいました。

図9ご覧下さい。海水温の永年変化と1998年の気象・海象をグラフにまとめてみました。石垣の港でとっている気象のデータを折れ線グラフにしたものです。1913年くらいからのデータがあります。上の図をみますと海水温が徐々に上がっている様子がわかります。過去の記録をみますと1998年より高い記録がなかった訳ではないのです。それではなぜ白化現象が起きたの

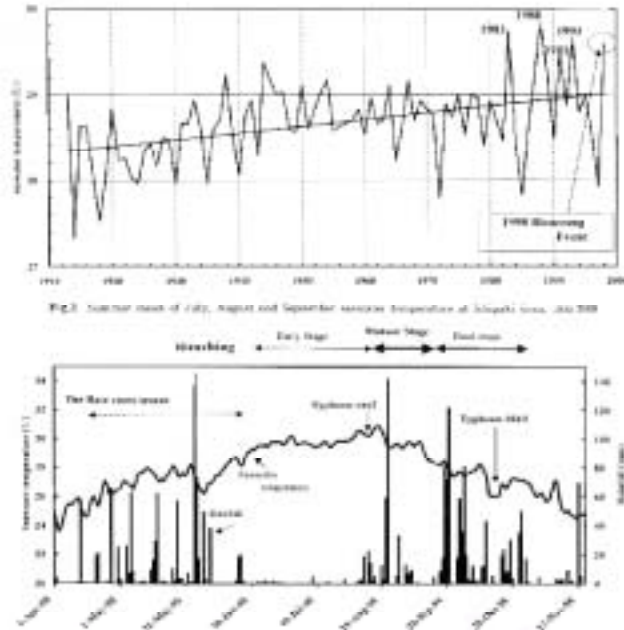


図9 海水温の永年変化と98年の気象・海象

でしょうか。

図9の下段の図は、1998年の4月から12月までのデータで、折れ線グラフが海水温、縦軸が降水量です。梅雨時に雨がたくさん降ると連動して海水温が下がることがよくわかります。あとは台風です。台風がきても海水温が一気に下がることがよくわかります。梅雨と台風の間には降水量がほとんどない期間があります。1998年のこの間は、台風がほとんど来ませんでした。台風が来なかった原因はエルニーニョと考えられています。台風が来なかったために海水温が混ざられない、雨が降らない、そして石垣の海は一挙に海水温が高くなってしまいました。

ところが、私はそれだけが原因ではないと考えています。1998年は梅雨の雨量が凄まじかったのです。那覇では平年の1.5倍、久米島では約2倍、名護でも約2倍、宮古では2倍以上、石垣では約1.9倍くらいでした。この雨によって赤土の流出が起きました。いつもより大量の赤土がサンゴの海に流れ込んでしまいました。それによってサンゴは非常に弱っていたと考えられます。そこに海水温が上がる現象が起きてしまいました。1994年の夏ですが、同じ石垣島でサンゴが白くなってしまったことがありました。集中豪雨の直後です。写真を見ると赤土の赤い色の河川の水が広が

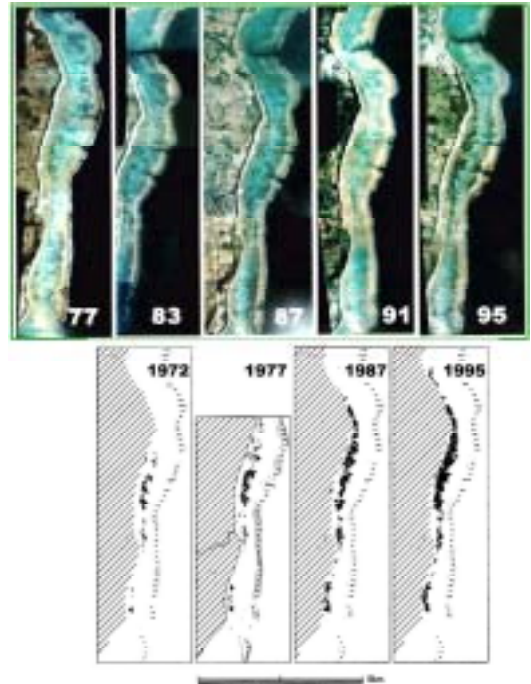


図10 5時期の空中写真による比較と汀線付近の海草帯の経時変化

っていく様子がよくわかります。私はこれを「赤土前線」と名付けました。サンゴは赤土によって潜在的に痛めつけられている訳です。私は、例年の2倍近い梅雨期の降雨に伴う赤土と淡水の流出と、その後の高い海水温の影響が複合して白化現象が起きたと考えました。これは恐らく事実だろうと思います。

次に過去30年間でサンゴ礁の浅海域に何が起こったかをお話したいと思います。図11をご覧ください。1977年から1995年までの5時期の空中写真を並べてみました。下から上まで7kmくらいの範囲です。1977年は本土復帰して数年経った時期ですが、海岸に近い部分の海草帯がだんだんと増えています。この図から生きたサンゴが死んでいって、海草の類がどんどん増えているという変化がみてとれます。海草が増えることが悪いのかとお思いかもしれませんが、海草の成長のスピードは造礁サンゴの成長のスピードより速いです。従って、海草は浅い部分の造礁サンゴを覆ってしまい、サンゴに光が届かなくなり、造礁サンゴは成長をとめてしまいます。ですから、サンゴ礁の浅い海に海草が繁茂することは、造礁サンゴにとって脅威になります。海草によって造礁サンゴが駆逐されるという大きな影





図11 赤土で埋積される河道

響が起こる訳です。

そこで、なぜ海草帯は拡大してしまったのかという話に移ります。図7で石垣島の3-D写真の図をご覧いただきましたが、石垣島の台地や平地の部分はすべて人の手が入っているといいました。こうした場所で起きている現象は宇宙から丸見えです。時間降水量20～30mmの雨が降ると、農地から流出する赤土の様子が宇宙からの写真に写っています。折角作った舗装道路が、排水路になってしまって、赤土が一気に海に流れ出てしまいます。道路が舗装されているが故に排水路になってしまうという皮肉な結果となっています。20～30mmの雨というのは、土砂降りの雨ですが、5年間くらいの統計で調べると、沖縄では1年間に20～30回発生します。そうなりますと、石垣島では赤土の流出は日常的に起こっていると考えていくくらい頻発します。まさかこの様子が宇宙から見るとは思いませんでしたが、宮良川の河口から濁水がサンゴ礁の切れ目を通して外洋排出されている様子をLADSATからの写真で見ることができるのです。赤土の流出の様子が700km上空からも見えてしまう、それほど大規模な現象だということです。

図11をご覧ください。これは石垣島の川です。3面張りまたは2面張りの川ですが、このように土砂が溜まっています。そこを通る水が溜まった土砂を浸食しています。轟川の上流から下流までの赤土の層厚を計ってみました。一番厚いところで85cm、もっと厚い所もあると思いますが、大変な量の赤土が川底に溜まっています。溜まる場所がなくなって海に流れだしているという現象が現実には起こっています。これは3面張り

にしたために、赤土が一気に太い本流へ、さらに一気に海へというルートが出来上がってしまったのだろーろと思います。雨の日の翌日に海岸に出ますと、ぬかみ状態になっています。これが日本の最も美しいと思われる石垣島のサンゴ礁の実態です。

実際海の中にどれくらいの赤土が溜まっているのかを計ってみました。海草が繁っている部分の下の砂を採ってきて、その中に含まれている赤土の成分を分析してみました。すると、換算すると1立方メートル当たり180kg溜まっている場所がありました。大変な量です。それも海草帯に溜まっています。これは、海草が繁っているために赤土がそこにトラップされ、どんどん海草の部分に溜まってしまいました。そして海草はどんどん繁茂しています。つまり、赤土の中に何らかの栄養物質が含まれていて、それが海草の肥やしになっているのではないかと私は考えました。それで水の成分を分析したところ、この部分でリンや窒素の成分が非常に多かったのです。赤土が流れてくる、赤土の中に含まれているリンや窒素の成分が赤土に海草帯に絡まってそこに沈みます。その栄養で海草が繁茂し、それがサンゴを駆逐していく、ということがみえてきました。

白保海域の変化はなぜ起こったかももう一度整理してみます。赤土が流入します。栄養塩のサンゴ礁域への流入が起こります。これは、家畜の糞尿や生活排水の影響だと思えます。また、赤土に混じった化学肥料もあるかもしれませんが、多くは家畜の糞尿だと思えます。それで、土地利用形態の変化から流域の経年変化を探ることによって、原因がどこにあるのか確かめるために、沖縄全域の土地利用図を作ってみました。1920年頃と1990年代、つまり大正と昭和・平成期の土地利用の変化図を沖縄全域で作ってみました。2、3週間前にできあがりまして、全域で99枚になります。その図で糸満の辺りをみましても70～80年間で森林の部分が劇的に変化したことがわかります。森林がどんどんなくなり、畑などに変わってきたといえます。

石垣島ではどうなのでしょう。1921年は八重山でサトウキビの栽培が始まってから30年くらい経った頃に相当します。轟川流域でもサトウキビ畑が拡大していった時期と思われる。それ以前はどうだったのか

という資料がないので作れません。湧水地や川沿いには水田が広く分布していますから、サトウキビ畑から流れてくる赤土は止められていたことが想像できます。65年経ち土地改良事業が進行していた時期の図をみますと原野は殆ど残っていません。流域の大部分で高い所は削られ、低い所は埋められる平坦化工事が進行していた時期です。整然とした画一的な土地ができあがりました。土地改良事業が進んでいる時は、サトウキビ畑やパインアップル畑がみられました。しかし、現在ではそれから牧草地への転換がどんどん進んでいます。八重山での農家の肉牛の飼育頭数が、この10年間で2倍くらいになりました。1戸当たり40頭近い牛を飼育しています。轟川の流域で私が1995年と2000年に調べたところ畜舎が19棟ありました。そして、これらからの糞尿がほとんど未処理のまま川に流されていました。現地の人に聞きますと「便乗排水」と言っていました。畜舎の床面がコンクリートで固められていて、緩やかに川に向かって傾斜しています。雨が降ると雨水によって川に排水されます。雨水に便乗して畜舎を綺麗にする便乗排水が未処理のまま川に垂れ流しされています。それが海に流れ込んでいきます。そして、赤土と一緒に海に流れ込んでいって、赤土とともに海草帯にトラップされ、肥やしになって海草帯がどんどん増えていっています。こうした流れが解明されつつあると私は思っています。

どれくらいの糞尿が流れ出るのかということは測定できません。複雑な現象の空間的な相関というのは分析的な因果論まで進めることができません。私が示しましたのは、海域と陸域の分布図です。これらはあくまで実証的な証拠にすぎません。それを定量化しろといわれてもできない訳です。しかし、海域での陸水のたち振る舞いを考えますと、私の考えているストーリーは当たっていると思います。

2003年2月13日にWEBに出てきたnatureの記事に、グレートバリアリーフのサンゴ礁調査のことが書かれていました。ヨーロッパ人がオーストラリアに移住して住み着いた1870年以降の大きなサンゴ礁を解析した結果です。生きたサンゴを採ってきて、輪切りにして年輪をみて年輪のところから骨格を削って分析するという調査です。すると、移住が始まって以降、陸

域から流れ出す土砂の量が2倍から10倍に増えたというレポートが出されたのです。これはまさに石垣島の現状と一緒です。沖縄で一番いい環境の石垣島です。沖縄全域での共通の問題点であるといえると思います。

沖縄の本土復帰以降、三次の振興開発計画が進められ、それに伴い土地利用が大きく変化してまいりました。多少のタイムラグはありますが、海の中の変化も大きかったという話をさせていただきました。

最後に私は教条主義的な環境保護論者ではありませんが、今日の話をしなすと避けて通れないと思いますので、新石垣空港の建設予定地のことについて少しだけお話します。新石垣空港を白保サンゴ礁の一番北の端、カラ岳に作るという計画があります。海から見上げると6階建ての建物に相当する滑走路ができることになるそうです。着々と計画が進んでいるようですが、100人の研究者に聞いて、まったく影響がないかと聞くと、「影響がない」と言える研究者は恐らく一人もいないと思います。それほどサンゴ礁に与える影響は大きいと思います。それは地下の水系を全部破壊してしまいます。巨大なコンクリートの建造物ができますので、降った雨の影響をはじめとする、言い尽くせない大きな問題点が出てくると考えられます。肅々と計画は進んでいるようですが、私がある外国の方を案内しましたら「何を考えているのか。日本の研究者は何もできないのか」と言われ恥ずかしい思いをしました。

自然なくして沖縄観光の持続的な発展はありえないと思います。沖縄のサンゴ礁は世界的に貴重なものであり、その価値を再認識・再評価すべきであると思います。沖縄のサンゴ礁は危機的な状況にありますが、我々の危機感が薄いと思います。サンゴ礁は移植すればいいというものではありません。違う場所の遺伝子が違うサンゴを持ってきて、そこに移植することが果たしていいことなのでしょうか。今まで大規模な移植で成功した例はないと思います。何とかするのはないか、という話では済まされないところまで来ていると思います。特に石垣島などでは、「観光で食べていこうとするのに、なぜいいサンゴ礁を潰すのだ」という話に必ずなるのではないかと私は思っています。時間となりましたので、今日の話はこの辺で終わらせて

いただきます。ありがとうございました。

## 質疑応答

仲田清祐（仲田会計事務所所長） 赤土で必ずサンゴは死んでしまうのでしょうか。

長谷川 必ず死ぬとはいええないと思います。赤土は意外と沈む速度が速いのです。赤土が流出した翌日や翌々日に海岸に行きますと「赤土が流れていたのかな？」ということがあります。少量の赤土が流れ出たくらいでは、サンゴは自分の身を守る術を知っています。粘膜を出して赤土を払うことができるのです。しかし、現在流れ出ている赤土の量は半端ではありません。粘膜を出して身を守ってもサンゴは死んでしまう状況になってきていると思います。すべての降雨で赤土は流れ出ますが、その時に必ずサンゴが死ぬかというところではありません。ただし、サンゴがダメージを受ける頻度は、30年前に比べると遙かに増えているということはいえると思います。

伊江朝雄（元沖縄開発庁長官） 沖縄は土地が狭いから、常に開発が先か、自然保護が先かという二者択一に迫られます。どちらを優先するかという問題は別にして、埋め立ての問題や汚水の問題は、県なり国に提言していくことが大事ではないかと考えます。

長谷川 私がいうまでもなく、今日の話のような提言は30年前からされていると思います。赤土調査につきましても、たくさんの研究調査や政策がなされましたが効果があがっていません。私は現地のある市で「もう赤土防止の調査にお金を使うのはやめてはいかがですか。もう赤土を止める仕事をされた方がいいと思います」と話させていただいたことがありました。その時、市の方は「もう止める仕事もしています」とおっしゃっていましたが、現実問題としては止まっています。これ以上のことは越権になりますので申し上げますが、行政の方には調査よりもそのようなところにお金を使っていたらいいと思っています。ただ、市の農業委員の方から、「赤土を止める仕事をしたいのだが、地主さんの協力を得られない」という話も伺いました。簡単な話ではないと思いますが、1枚1枚

の圃場からの赤土を止めることが先だと思います。大規模な沈砂地を作ることも重要かもしれませんが、沈砂地に溜まった砂を取らないと沈砂地が機能しないという話もしょっちゅう出てきます。1枚1枚の圃場にシートを被せるなり、枯れ草を被せるだけでも全然違いますので、そういう小さな運動からは始めるべきではないかと思っています。

仲田 普天間基地を名護市辺野古沖の海上に移設の話がありますが、あの一帯はサンゴ礁が豊富だと伺っています。サンゴは本当に死んでしまうのでしょうか。

長谷川 確かに死ぬと思います。皆さん健全なサンゴ礁とはどういうものかとお考えでしょうか。見た範囲にすべて生きたサンゴがあるというのが健全なサンゴ礁ではありません。生きたサンゴもあり、死んだサンゴもあり、半日くらい泳いでいればオニヒトデもいる、というのが健全なサンゴ礁だと私は思っています。サンゴは生き物です。あの場所も仮に調査した時はサンゴの密度が高くないとしても、10年後に行ったらどうなのかということ、同じ環境が維持されていれば、健全なサンゴの群帯がいろんな所に移っている、あるいは増えているということが十分に考えられる場所なのです。ですから、一時だけの調査で「ここはあまりサンゴがないから大丈夫です」という判断ができないのがサンゴ礁の海です。あの場所にあれだけの構造物を作りますと、何しろ物が大きいのですから、海流がまったく変わってしまいますし、計り知れない影響が出てくることは間違いのないと思っています。

