

Proceedings of the Concluding Workshop on Coral Reef Studies, Kochi, November, 1993
A Commemorative Lecture¹

珊瑚礁にはなぜ動物の種類が多いのか

橘川 次郎
熱帯雨林共同研究センター

WHY ARE THERE SO MANY ANIMAL SPECIES IN THE CORAL REEF ?

Jiro KIKKAWA

*Cooperative Research Centre for Tropical Rainforest Ecology and Management,
PO Box 6811 Cairns, Qld 4870, Australia*

Abstract: The great diversity of animal species in the coral reef is well established. I examine causes and consequences of this species diversity on the Great Barrier Reef by briefly describing the following features associated with the coral reef: (1) evolutionary history, (2) species-area relationship (3) number of coral species, (4) reef architecture, (5) environmental gradients, (6) community composition, (7) guild size, (8) niche width and overlap, and (9) dynamics of diversity. We find in all of these the conditions favouring high species diversity of animals on the Great Barrier Reef.

Key words: Species diversity, Coral reef, Great Barrier Reef

ただいまご紹介を頂いた橘川です。どうぞよろしく。私は生態学をずっと勉強してきた生物学徒ですが、海のことには専門ではありません。ただ、熱帯林と珊瑚礁が好きで、オーストラリアでも一番熱帯に近い所にある、クィーンズランド大学に奉職していました。珊瑚礁に関する細かい事は、ここには中内学長をはじめ、優れた研究者がたくさんおられるので、それらの先生方にお尋ねになってください。私は簡単に何故珊瑚礁には動物の種類が多いのかと言ったような事を、むしろ基礎的な面から話して行きたいと思います。

写真(1)に見える島はさきほどグリーンウッド先生から、ご紹介のあったヘロン島です。この島のある大珊瑚礁グレート・バリア・リーフは延々2000km続いていると言われていますが、実際には船で行くと一つの島が見えなくなった頃に、もう一つの島が現れるというくらい距離が開いております。もし動物が全てそれぞれの珊瑚礁に定着していたら大変な進化が起こっていたのではないかと思います。実際には、例えば、魚などは必ずと言っていいほど珊瑚礁と珊瑚礁の間を動いております。そういう点が陸上の動物とは違うと思います。

オーストラリアでは珊瑚礁の中に島が形成され、それはケイ(cay)とよばれます。したがってケイはラグーン(lagoon)の中に発達しています。南太平洋の環礁に発達する島のアトール(atoll)はありません。ラグーンの中を歩いてその縁(edge)まで行ける所はオーストラリアでしか見られない状況なのです。この干潮時歩行できる部分をリーフ・フラット(reef flat)と言

¹ 本講演は、1993年11月30日に高知大学に於いて、高知大学海洋生物教育研究センター及び高知大学・クィーンズランド大学珊瑚礁研究グループ主催により行われた。

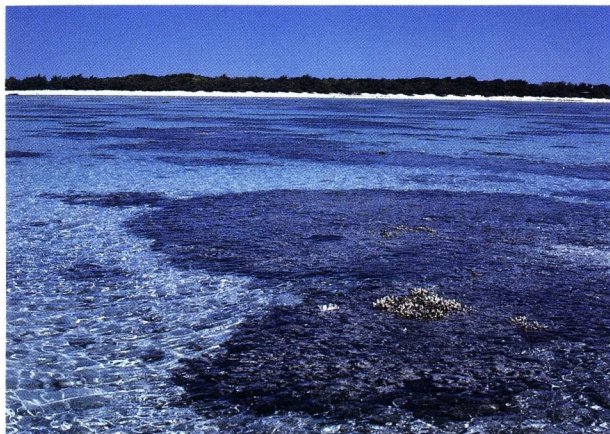


写真1. 珊瑚礁に囲まれたヘロン島

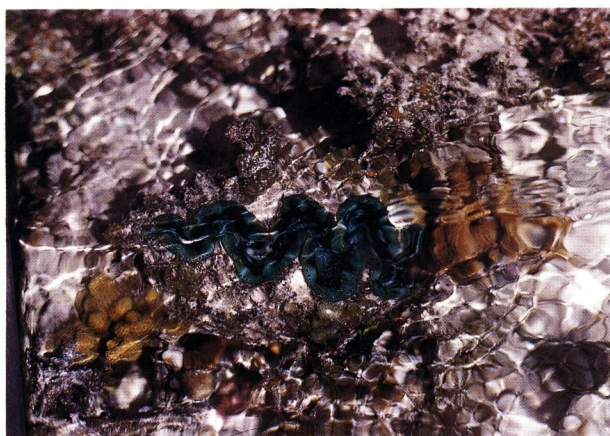


写真2. シャコガイの外套膜に共存する Zooxanthellae の色. 1961年にヘロン島で撮影.



写真3. サンゴ塊に付着する生物の多様性*



写真4. ミカドウミウシの幼生*



写真5. クマノミとイソギンチャク*

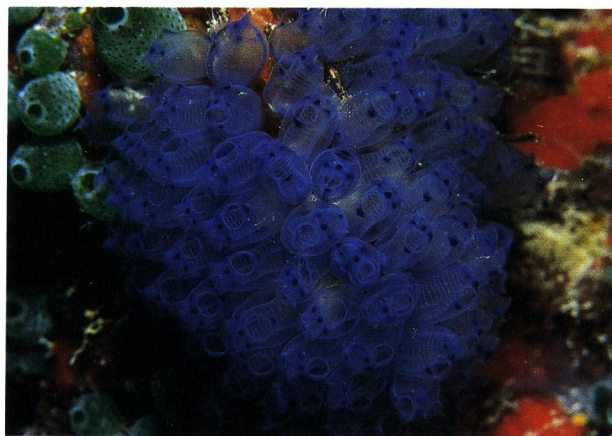


写真6. 群体ボヤ (コバルトクラベリナ)*

* © L. Newman/A. Flowers

表1. なぜサンゴ礁に動物の種類が多いかを調べる項目.

進化の歴史
面積と種類数
サンゴの種類
群集構造
環境傾斜
群集組成
ギルドの大きさ
ニッチの幅と重複
多様性の動態

います。外海に面してやや高くなっている部分がリーフ・クレスト (reef crest) で、その外側がスロープ (slope) になっています。珊瑚礁にいろいろなサンゴや魚などが沢山いるのは、このように環境が複雑であるためということをまず指摘しておきましょう。

私は1961年に初めてヘロン島に行きました。学生の頃からの珊瑚礁が見たいという強い願いが叶いました。しかしその時には先程スライドでお見せしたようなあんな立派な施設は全くありませんでした。掘っ立て小屋で寝たので、夜カメが上がってきたら大変だなと、心配したぐらいです。でも当時は嬉しくて、いろいろな写真を撮りました。これはその時撮ったシャコガイの写真(2)です。共生する Zooxanthellae の色が一つ一つ違います。その他、ナマコの類とかアメフラシの類とか棘皮動物などいろいろな生物がいます。サンゴ、特にその死骸の中にはケヤリムシなどいろいろな多毛類とか、軟体動物、エビやカニ等の甲殻類、後鰓類その他にいろいろな生物が棲んでいます。勿論、生きたサンゴの中にもそういう生物がいるんです。いろいろな種類がいて、日本では余り見られないウミユリの類など、サンゴの間に生えています。タカラガイの類は、海岸で貝殻を拾えばすぐにタカラガイと分かりますが、生きているのを見ますとマントルを上に乗っけていて、これがタカラガイなのかと思われても不思議ではありません。卵が付いたエビやホヤの類もいます。こういうふうに、いろいろな生物がたくさんいて珊瑚礁はとにかく多種多様な生物で満ちあふれています。

表1は動物の多様性に関する機構として、私が書き出してみたものです。今はサンゴの話をしている訳ですから、面積と種類数は珊瑚礁のある海域の広さとサンゴの種類数や形態との関係、群集構造もサンゴが造っている珊瑚礁の構造というふうに読み替えていただけたらいいと思います。何故こういう事が種類の多様性に影響してくるかということをかいつまんで申し上げます。

まず、進化の時間が長ければ長い程、生物は種類の数が増えていくのではないかという点です。最近のDNAの研究では、例えば恒温動物が変温動物よりもメタボリズムが速いから進化の時間が速いとか、体の大きいほど進化の速度が遅いとかなどの点が少しずつ分かってきています。しかし基本的には進化してきた時間に関係します。珊瑚礁を形成している造礁サンゴの類が進化してきた時間は非常に長いのです。現在の珊瑚礁は昔は珊瑚礁ではなかったにしても、少なくとも移動できる範囲で生き永らえていなければ、種属が継続されていない筈です。その間に種類が増えたというふうに考えれば、進化の歴史が古いほど種類も多くなって当然です。

次はスペースです。調査する面積を広げれば当然種類も多くなります。これはみなさまご存

じのように、昆虫採集にいった場合もそうですし、植物の群落の解析をやる場合でも、枠のサイズを大きくすればその中に入る種類もだんだん多くなります。それと同じように海に潜って魚を1000匹調べ、50種類からなっていたとします。次に更に1000匹を調べると、53種或いは54種が増えてゆきます。そういうふうのだんだん数を増やしていけば、つまり調査の面積を広げていけば、種類数も増えていきます。これは単に面積が大きくなったから種類数も多くなったというだけではなく、広い面積をとった場合には、環境も多少変わってくるからです。さっきお見せしたように、コーラルリーフのリーフ・フラットからリーフ・クレストに行くと、それからスロープに出る。そういうふうな動き方をすれば環境も変わるわけですから、ただ面積ではなくて環境が変わるために種類数が増えることもあります。従ってその両方を考えなければいけません。それからサンゴの場合には、一つの種類がいろいろな形態を持っていることがあります。植物とはそういう点がかなり違っておられます。サンゴが小さい時と大きくなってからとでは、また群体の上の方と下の方とでも形態が違うものがあります。イシサンゴの様な形をしているものもあれば、ツブサンゴの様な形をしている個体もいるというふうには、同じ種類でも違った成型をもったものもいます。これを建築に例えれば、天井もあれば壁もあるし床もあるという具合です。その群集の構造を立体的に見ていけば、サンゴが造っている空間が複雑さを増し、そこを棲み場とする動物の種類も多くなるのです。従ってサンゴの種類が多ければ魚の種類も当然多くなり、そのサンゴが作りあげている珊瑚礁の構造が複雑であればある程、そこに棲む生物の種類も多くなります。

次は環境傾斜について考えてみましょう。先程申し上げた様に、リーフ・クレストから沖合へ向かいますと水深は大きくなってゆきます。このことはサンゴに共生し光合成を行っている Zooxanthellae にも影響を及ぼしています。そうして造礁サンゴからだんだん宝石サンゴに変わっていくのです。このような環境傾斜は水深だけに限らず、リン酸とかその他の栄養塩濃度の傾斜でもいいわけです。また珊瑚礁の島からの距離でもいいし、いろいろなことで環境傾斜が考えられます。その傾斜に沿って棲息する動物の種類構成も変わります。ですからこれを調べてみれば、やはり何故種類が多いのかという理由が分かるかもしれません。

その他にもう一つ大事なことは、熱帯と温帯を比べた場合に、陸上では熱帯の方が一般に生産性が高いのです。特に熱帯の多雨林は生産性が高いのです。これに反して非常に広大な熱帯の海には栄養塩がほとんどなくて、プランクトンの量も少なく生産性が低いのです。しかし珊瑚礁に限って言えば生産性が非常に高いのです。それはそのサンゴに共生している Zooxanthellae という単細胞の植物が光合成をしているからなのです。そのために第一次生産が大きくなり、それが珊瑚礁の動物を支える基盤になっているのです。そう考えますと、非常に基盤が大きいということは、それを細分化していろいろな動物が棲めるわけです。ですから環境の傾斜があったり、構造が違ったり、種類が違ったり、面積が大きかったり、進化の歴史が長かったりすれば、だんだん細分化して、ますます特殊化した動物が小さいところに棲んで生活することになります。

同じような餌の取り方をして資源を利用しているグループをギルド (guild) と言います。そのギルドの大きさが、熱帯では大きいのではないかと考えられます。更にそのギルド一つ一つの中に種類の数が多いのではないかと考えられます。さっき申し上げた様に生産性が高いのですから、その資源をいろんな種類で分け合っているのではないかと思います。そのために種類が多くなっているのかも知れません。そして一つ一つの種類が占めている、その生活に必要なニッチ (niche) の幅が狭くなっていると考えられます。

嵐とか台風が来て珊瑚礁が破壊されると、その後にもまた新しくサンゴやその他の付着生物が

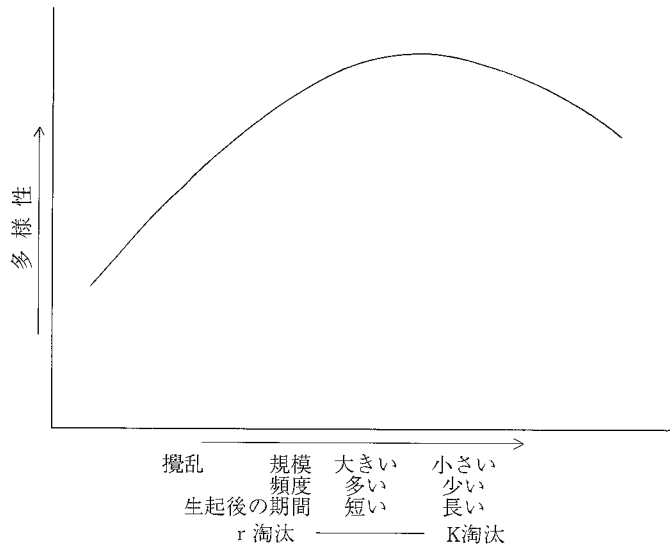


図1. 環境攪乱と群集の多様性の関係。

増殖します。その過程をある一定の期間ずっと観察しますと、ある珊瑚礁は台風が来てからもう50年も60年もたっているが、全然破壊されておらず非常に複雑になっており、別の珊瑚礁は嵐が来てからまだ5年しかたっていないため、魚の種類が少ないということがあられるかも知れません。そういうふうにして地域、つまりスペースと、時間詳しく言えば進化の時間だけではなく生態的な時間の組み合わせがこの多様性を成り立たせているのではないかと考えられます。しかしこれらを一一つ話していけば大変長くなりますので、その中で問題点をちょっと絞って申し上げます。

唯今申し上げたように、非常に大きな台風で広範囲な破壊が起こると、そこへ再び新しい生物が付くまでにはかなり時間がかかります。もしその様な時にこの多様性を縦軸にとって、嵐が来てからどのくらいたつたかという時間を横軸にとりますと、最初は多様性が破壊されて非常に限られた種類しかいないのですが、時間と共にだんだん増え複雑化していきます(図1)。するとサンゴに限らず、基盤になっている珊瑚礁の形態が複雑化すればそこに共生している甲殻類とか、そこにやってくる魚などもだんだん多様性を増してきます。ところがある一定の所まで来ますと、例えばリーフ・クレストの高いところでは、干潮の時にサンゴが水面から露出し死ぬかも知れません。そういう所はかなりスペースが限られていて、光を対象にして競争がおきています。

種類の間競争では、サンゴが夜になると触手を出しお互いに食べあったりするのです。水族館などに夜行ってご覧になって下さい。触手を出してお互いに喧嘩をしております。サンゴは定着している様であっても、そういう意味ではかなり闘争性があるのです。また、成長の速いものが成長の遅いものを追い越しております。このような段階まで来ると競争の結果、種類が多少減ってくるのです。攪乱の頻度が多いか少ないかによってもこういう曲線が書けます。頻度が多ければ多様性が小さく、頻度が少なければ多様性が大きくなります。そこでは嵐で全く破壊されなくても競争の結果、多様性は少し落ちるかも知れません。また、その台風の規模が非常に大きい場合には、サンゴはたくさんやられますから回復するまでに時間がかかります。

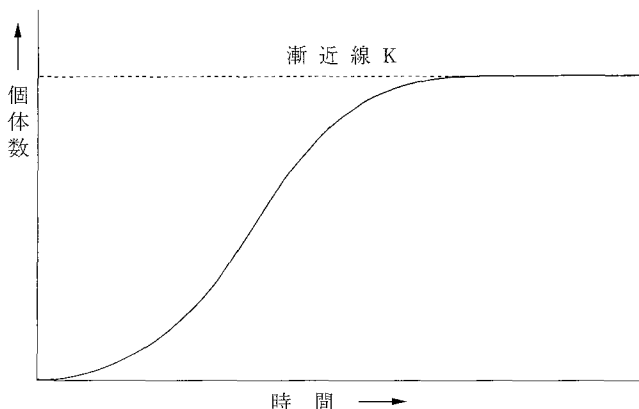


図2. ロジスティック曲線, 個体群が生長して環境収容力に達する過程.

ところが台風の規模が小さければ、すぐまた元に戻ります。そこで一般的に言えることは、我々生態学者の間で長い事問題になっている r 淘汰が起こるということです。 r は個体群動態では増加率ですが、個体群生物学では増加率の他、淘汰率を意味することもあります。生物がもし新しくできた環境を利用するのであれば、非常に能率を良く繁殖して他の種類よりも一刻も早く個体数を増やし、その資源を獲得するというのが上策です。そういう仕方競争するのを r -strategy, そういう戦略で淘汰されたものを r 淘汰された種という意味で r -strategist と呼びます。

ところが、長い間攪乱がなくて環境が複雑化したところに棲んでいる動物は、そういうふうな戦略を持っていても何にもなりません。利用する資源がないからです。それより環境収容力 (carrying capacity) を他の種類よりも高くして、その収容力を保ち少しでもうまく資源を利用しようという方向に進化します。その収容力はロジスティック曲線の漸近線 (K) に相当するので K と言います (図2)。ですから K 淘汰と言うのです。従って珊瑚礁へ行って、 K の戦略を持った種類がどの位いるかを調べれば、いつ頃嵐が来たかが分かるわけです。つまり攪乱されていなければいけない程、そういう K -strategist が増えてくるわけです。ただこの戦略で不都合なのは珊瑚礁が点々とあるので、ある場所に嵐があつて攪乱が起こっても、 K -strategist は別の場所からは容易には行けないことです。ですから r -と K -の両方合わせた戦略を持っているのが便利です。例えばベラの類はたくさん卵を産みます。たくさん卵を産むというのは r の戦略です。繁殖力が大きいわけですから、そういう戦略を持ってますと、どこか開けたスペースが出来た時にさっと行けるわけです。同時に幼生の分散時代が長くて、数多くて、長距離移動することが出来るというような戦略がいいわけです。ところが一旦定着しますと、今度はそういう戦略を持っていたのではやっていけません。理由は、他に K 戦略を持った動物が資源の利用をうまくやっていて、競争に勝てないからです。ですからベラのようにたくさん卵を産みながら自分は定着して非常に狭い範囲で餌を取ったり、大きくなってくると全然自分では移動しなくなったりします。つまり K と r の戦略を組み合わせた生物が出て来るわけです。そういう意味でも珊瑚礁は非常に生物の種類が豊富なのです。もちろん相応の栄養塩がなければいけないし、相応の資源がなければ全体の生物量 (バイオマス) を保つておくことは出来ません。これには全く異論は

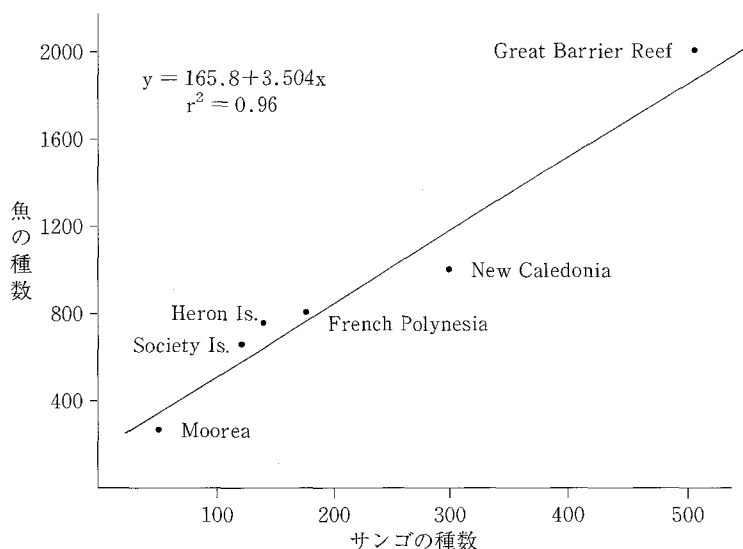


図3. 太平洋のサンゴ礁にみられるサンゴの種類数と魚類の種類数の関係 (Kikkawa と Green 1994より) .

ないのです。

それでは何処に問題があるのかと言いますと、生態遷移 (ecological succession) の過程なのです。一度破壊された珊瑚礁が、また元に戻るのか戻らないのか、というところに問題があるのです。つまりある珊瑚礁と別の珊瑚礁が違うのは、さっき申し上げました様に破壊されてからの年数が違うためなのか、それとも同じ年数であっても違うのかということなのです。つまり一度破壊された後、だんだん種類が増えていく生物群集の組成は、珊瑚礁ごとに異なっているかもしれません。こういうことは余り頻度が多くあってはいけません。でも適当な頻度で、あっちこっちとやられているから多様性が保たれているのかもしれません。しかしこういう見方をしますと自然の平衡 (balance of nature) はないわけです。バランスがあつてはこうはならないのです。ですからバランスがないと言う人と、バランスがあると言う人がいるわけです。後者では長い間にみんな非常に特殊化し資源を分け合つて、小さなニッチを占めてたくさんの種類が群集を構成しているんだという見解で、バランスがないと言う説と対立します。それをちょっと詳しく見てみましょう。

まず先程申し上げたようにサンゴの種類と魚の種類が、もし並行して変化しているとすれば、サンゴの種類が多ければ多いほど魚の種類も多くなるはずですが、図3はサンゴの種類とその珊瑚礁に棲息している魚の種類を比較してみたものです。その関係はこういうふうにならかなり高い相関関係が認められます。ところがインド太平洋のサンゴの種類は東へゆく程減ってゆきます。それと並行してスズメダイ科の魚もニューギニアの北の海岸で103種類、ソロモン群島で98種類、ニューカレドニアで66種類、そしてフィジーで58種類、タヒチの方へ行くと27種類、というふうになんか減ってゆきます。つまりサンゴの種類が多いから魚の種類が多くなっているのではなく、両方とも西から東へ分散していく過程で種類数が減っているのです。マッカーサーとウィルソンという人が書いた“Island Biogeography”の本の原理に従って、分散距離の大きいところ、しかも時間をかけなければ到達できないというふうな所では種類数が

表2. サンゴ礁にみられるベラ科魚類の種の多様性—グレイト・バリア・リーフ（北部、南部）と西大西洋（米領ヴァージン島、オランダ領アンティル島、バハマ諸島）の比較（Kikkawa と Green 1994より）.

	グレイト・バリア・リーフ			西大西洋		
	北部	南部	総計	米領 ヴァージン島	オランダ領 アンティル島	バハマ諸島
H'	2.69	2.80		0.69	1.01	0.94
α -diversity (種数)	38	34		8	10	10
γ -diversity (総数)			44			
β -diversity	0.73	0.83		0.20	0.24	0.28

少なくなっています。ですから何もサンゴの種類が少ないから魚の種類が少ないのではなく、両方ともその生物地理学的な原理によって数が少なくなるのです。カリブ海ではサンゴの種類は約50種類、魚は約350種類います。グレイト・バリア・リーフではサンゴは約500種類、魚は2000種類近くいます。従ってこの二つの多様性を比較してみれば、何故一方だけ数が多いかという事がわかるのではないかと考えられます。

多様性を比較するには色々な方法があります。多様性と言っても必ずしも種類ばかりが対象になるわけではないのです。種類を対象にして比較するには、 α -diversity を用います。これには情報理論に基づいた H' というのがあります。例えば、個体数が多くなれば種類数も当然多くなるわけですから、その情報量というか不確実性も高くなるわけです。また日本の森下さんが考え出した I_0 という index があります。どの位種類に入れ替わりがあるかということを考えて、二つの群集を比較するもので β -diversity です。つまり、 α -diversity は局地的な場所的多様性であって、 β -diversity は地域を変えることによってどう変わるかという index です。なお γ -diversity というのはその地域全体で何種類いるかという index です。ここで turnover rate というのは、例えば、1 地域と 2 地域で両方合わせると 100種類いるけれども、そのうち 50種類が共通した種類である場合には 50% となります。この方面の調査を私の昔の教え子で、今 PhD を目指している女性が、珊瑚礁の海を潜ってベラの類 (Labridae) で調べています。俗にパロット・フィッシュとよばれる魚は性転換をするので有名ですが、大きな歯の発達していないブダイ科 (Scaridae) と牙のような歯をもつベラ科 (Labridae) にわけられます。ベラ類は、底棲の無脊椎動物を食べています。彼女はグレイト・バリア・リーフでリザード島とワントリー島で潜って、その種類を調査しました。そうするとベラ科の魚 (Labridae) がリザード島では 38種類、ワントリー島では 34種類です。ところが西大西洋のヴァージン島では 19種類、メゾ島では 10種類、バハマでは 10種類でした。グレイト・バリア・リーフの方が約 4 倍種類が多いのです。そうして turnover rate もグレイト・バリア・リーフの方が大きくなります (表2)。

グレイト・バリア・リーフでも島の縁に沿って出来る fringing reef があります。それから、coral cay の周りがあるヘロン島のような reef と、更に珊瑚海 (coral sea) の中には文字通り大洋の孤島の珊瑚礁があります。この三つを比べると turnover rate に非常に大きな差があります。それは群集組成の変化が南北の緯度の差よりも、環境の違いによって大きく変わることを示しています。このことを考慮に入れると turnover rate は、グレイト・バリア・リーフの方が西大西洋の珊瑚礁より遥かに大きく全体の γ -diversity を大きくしている原因になっています。その次に、さっき申しました地域的な diversity も確かにグレイト・バリア・リーフの方が西インド諸島の方よりずっと高くなります。更に β -diversity もグレイト・バリア・リーフの方が非常に

表3. 表層に産卵するベラ類と底層に産卵するか付着卵を生むスズメダイ類にみられる生活史の特性—グレイト・バリア・リーフと西大西洋の比較 (Kikkawa と Green 1994より).

	グレイト・バリア・リーフ	西大西洋
ベラ類		
魚の体長 (平均最大値)	30.3cm	24.3cm
成魚の平均体長	9.2	6.9
ギルドの数	7	5
各ギルド内の種類数	2-26	1-7
環境への特殊化	進んでいる	進んでいない
生殖期	短い	長い
スズメダイ類		
卵の大きさ	大きい	小さい
稚魚の大きさ	大きい	小さい
浮遊期間	短い	長い
幼魚の成長率	早い	遅い
種間の違い	大きい	小さい
親による保護	発達している	発達していない

高くなります。ですから α -diversity, β -diversity, 更に γ -diversity も全部グレイト・バリア・リーフが大きく西大西洋の方は小さいのです。このような結果をもう一度ギルド (guild) の大きさとニッチ (niche) 幅という点から考えてみましょう。

グレイト・バリア・リーフに棲むベラ科 (Labridae) の魚で一番大きい種類は、西大西洋のもの比べて大きいのです。これはギルドが大きいことを意味します。その中には例えば、サンゴを食べる種類もいるのですが、そういうものは西インド諸島にはいないのです。更にそのギルドの中には底棲の無脊椎動物を食べる種類が非常に多いのです。つまり餌の対象になる資源が多くて、しかもそれに変異性が高いことが、グレイト・バリア・リーフと西大西洋を比較した場合に見出されます。従ってその特殊化 (specialisation) が、グレイトバリアリーフの方が西大西洋より遥かに進んでいるのです。これは結局進化の歴史に関係しているわけです。つまり、ベラ類は過去において氷河時代から海水面の水位が上がったり下がったりしたのに伴ってグレイト・バリア・リーフでは種類がどんどん増えました。しかし西インド諸島では種類が全然増えませんでした。西インド諸島も場所的にはかなり広いのです。グレイト・バリア・リーフが2000kmと申しましたが、これは帯状に長いのです。西インド諸島は帯状ではないのですが、千何百kmというふうに東西に長くかなり場所的には広いのです。しかし水位が洪積世に急激に上がりました。その上がった時に多量にサンゴが絶滅したのではないかと考えられます。つまりグレイト・バリア・リーフの方が進化史上種類がたくさん生じ、しかも絶滅した数が少ないと考えられます。

もう一つ考えられることは先に申し上げた r 淘汰と K 淘汰の関与です。魚の中には表層魚でたくさん卵を産んで幼生が移動するものもありますが、グレイト・バリア・リーフのスズメダイ科の魚では、産んだ卵が余り遠くへ分散しないのです。従ってある程度親がそれを保護するような形になります。そうしますと r よりも K の淘汰に近くなるというストラテジーを持っています。これらの点をグレイト・バリア・リーフと西大西洋とで比較してみますと (表3), グレイト・バリア・リーフの方が卵が大きく、プランクトン期間が短く、更に幼生は早く成長し

ます。グレート・バリア・リーフの方がKで西大西洋の方がrに近いという差が出てきてまいります。このように見てまいりますとやはりグレート・バリア・リーフの方が環境が多様性に富み、更にr淘汰とK淘汰、Kストラテジストの密度、一腹の卵数、寿命、繁殖期、食性及び分散などに開きがあり、あらゆる面で種類が多くなるように変わってるわけです。これに対して西インド諸島では全くそれが反対なのです。ですから例えば、嵐があると先程申しましたけれども、なにも嵐ではなくとも、棘皮動物の大発生によってもそれと同じような結果をもたらすのです。サンゴがオニヒトデに見渡す限りやられてしまうと、そのあと嵐と全く同じ結果になってしまうのです。それからだんだん藻類が生えて、藻類を食べる魚が増え、その後やっとサンゴが戻ってくるのです。そういう生態遷移の過程を辿ってまた複雑化してきます。ですから多様性には必ず歴史的に、そして生態的にも時間が必要ということなのです。もう一度表1に戻って多様性に関与する項目を整理しておきますと、進化の歴史、面積と種類数、サンゴの種類、群落構造、環境傾斜、群集組成、ギルドの大きさ、ニッチの幅との重複、多様性の動態、以上です。それでは、どうも。

質疑応答

質問：種類数というのは種類を数えればわかり、多様性というのはいわゆる多様性指数のような尺度で論じます。ところが、多様性が高いということの種類数が多いということに言い換えて話してしまうことがあります。その辺り多様性というものの正しい解釈について教えて下さい。

答え：大変いいご質問だと思います。多様性が問題になってきたのは自然保護者たちが、多様性ということを出したからなのです。今まででも多様性という言葉は学問の中では問題になっていたのですけれども、その時の多様性は指数を使ったのです。全体の数を余り問題にしなくて、例えば100個体の中に10種類いたか50種類いたかということが問題なのです。そういう多様性を示すのに Shannon-Wiener 関数 (H') やウィリアムスの α のように幾つかの指数があるのです。それらはいずれを取りましても、全体のサンプルの中で種類数がどのように分布しているかという均等性が加わった尺度なのです。ですから多様性が高いということは多くの種類が資源を分け合い、多様性が低いということは少しの種類が資源を分け合っているのです。例えば、トータルの資源を多くの種類が分け合っているか、少しの種類が分け合っているのか、それとも優占する種類が中において100個体の内90個体を占めているというふうになっていて、それがいろんな指数になって出て来て生態学者の中で問題になっているわけです。ところが自然保護者が出て来て、多様性の保持こそ自然保護の最も大切なことだというふうに、今世界的に IUCN や WWF が取り挙げて多様性というのが問題になっているのです。それは種類のことを言っているのです。これが何故こんなに大きな問題になったのかと言いますと、アマゾンの樹冠で昆虫を採集したときに林が違えば昆虫の種類が全然違うというふうに、その植物の種類や群落によって林冠に棲息している昆虫の種類が違うということが分かったからなのです。それから換算して植物の種類が幾つあるのか、植物の群落が幾つあるのかという turnover rate を計算したのです。そうしてみますと昆虫は、約三千万という種類がまだ記載されていないという計算結果が出て来たのです。このことから毎年何万という種類が絶滅しているというふう考えられて

きたのです。ですから自然保護者が言い出してもう一度生態学者が見直して、そして多様性の生態学というのを作り上げたのです。1993年に生物学賞を貰ったエド・ウィルソン教授がそういうことを普及して世界の生物学に大きな貢献をされたのです。ですからおっしゃった通り、確かに今までは生態学者が多様性をその指数によって論じてきたものでありましたが、今は全体の種類を多様性というふうに置き換えて、地球上の生物の多様性という場合には種類数を指しているのです。その面積とか個体数の中に含まれている種類の数ではないのです。それは大変重要なことだと思います。

質問：グレート・バリア・リーフで絶滅種が少ないとお話がありましたけれども、例えばレリックとしてウミユリ以外にどのようなものがあるのでしょうか。

答え：そうですね、確かにレリックとは系統的に古いものがあるかないかという事が目安です。ですから先程申し上げましたように西大西洋のベラ類にはレリックはいないのです。しかしグレート・バリア・リーフではその仲間に限って申しますと、サンゴだけしか食べないという特殊化した種類が2種類程いるわけです。棘皮動物のウミシダもそうですけれども、原生動物の有孔虫類や軟体動物頭足類のオオムガイなどのグループを見ても非常に古い時代に進化したものが確かに多いです。私は専門ではございせんから詳しいことは分かりませんが、特定のグループを取ってみてもその中にいますし、そういうグループがいるということはレリックが残っている、つまり絶滅の仕方が他に比べて少ないであろうということです。それからもう一つ共生動物が多いのも絶滅の頻度が小さいことだと思います。

質問：サンゴしか食べない魚という場合ですけれども、それは例えば地質時代の年代的スケールからいう程のものではないということでしょうか。

答え：はっきりした年代はDNAを調べなければわかりませんが、特殊化が可能であるということは、地質時代にもそういうことがあったのでしよう。つまり嵐が来て攪乱はされているけれども、ある程度安定した期間がなければ特殊化は起こらないのです。共生動物同士が共生するようになるのには、世代がそれぞれ違うわけです。魚はサンゴより寿命が短いので非常に長い間攪乱がなければ魚はサンゴに合わせて進化しています。サンゴが魚に合わせているのではなく、魚がサンゴに合わせて進化している、generation timeの違いということも大事だと思います。

引用文献

KIKKAWA, J. and A. GREEN, 1994. Why are coral reefs and rain forest so diverse? In, *Biodiversity: its complexity and role*, edited by M. Yasuno and M.M. Watanabe, Global Environmental Forum, Tokyo, pp. 227-245.