

サンゴ礁に対する人的影響の世界的評価

G.ホジソン

Institute for Environment and Sustainable Development, The Hong Kong University of Science and Technology,
Clear Water Bay, Sai Kung, Hong Kong, People's Republic of China

サンゴ礁はリゾート地として、また食料や生産物の源として、何千年もの間人類によって利用されてきました。サンゴ礁への人間活動影響はよく解っておらず、地域や世界規模ではほとんど理解されていません。"リーフチェック"と呼ばれる調査法が作られ、ボランティア・レジャーダイバーが調査し、海洋科学者がトレーニングを行って調査を引率し、高価値で同定しやすい指標生物を用いることが基礎となっています。2ヵ月半に渡る、31ヵ国300ヵ所を越える世界的調査によると、遠隔地であろうと人間活動影響を受けていないサンゴ礁は殆どないことが分かったのです。乱獲により、魚類や無脊椎の指標生物は、海洋保護区内のリーフを含めほとんどのリーフで激減しました。死サンゴに対する生きサンゴ割合は紅海が最も高く健康であると解りました。将来、調査リーフ数や調査頻度増加によって、リーフチェック・プログラムはサンゴ礁保全に対する公共の支援を高めると共に、地方、地域、および地球規模での変動を見つける価値ある調査法となるでしょう。

キーワード: サンゴ礁; 海洋生態学; 汚染; 世界的調査; 人間活動の影響; 保全.

序文

何千年にも渡り人類は、珍品や宝石、食料として、サンゴ礁に生息する生物を捕獲してきました。近年では、新しい医薬化合物が抽出され、サンゴ礁の観光産業が拡大するにつれて、サンゴ礁地域の開発が促進されました。マスメディアやスキューバダイバー、世界中の様々な地域の海洋科学者によると、増加する人口は先例のない勢いでサンゴ礁にダメージを与えてきたのです(Luchavez and Alcalá, 1988; Wilkinson et al., 1993; Munro and Munro, 1994; Grigg and Birkeland, 1997)。サンゴ礁が生態的・経済的に非常に重要であるにもかかわらず、私達はこの生態系がどのように人間活動に反応するかは、お粗末な知識しか持たず、特に地域的や地球規模においてはほとんど理解していないのです。

マイアミ大学1993年開催・世界サンゴ礁会議:
サンゴ礁の健康、脅威、歴史-はサンゴ礁の健康を地球規模で評価する必要性について、サンゴ礁科学者の認識を高めた分岐点となりました。会議の参加者は、“世界のサ

ンゴ礁状態を評価するためのデータベースは、全く不十分である”という結論に達しました。その理由は、サンゴ礁科学者の数が少なすぎ、彼らがサンゴ礁に費やす時間もあまりにも少なく、また様々な調査テーマを研究するため、多くはリーフの健康と無関係なのに、沢山の異なる調査法を用いるからです。同一リーフを長期に渡って調査するケースはほとんどなく、また多くのリーフを調査するのに同一測定法を用いることは珍しいことなのです。従来のリーフ調査は、魚類やハードコーラルどちらかの生態に焦点を絞って作られ、それによってリーフの健康評価ができるほど生物情報は集められませんでした。“サンゴ礁の健康”とは、病気や人間活動によって変化する生態系バランスに関する概念なのです。リーフチェックは、人的影響に関してリーフの健康の客観的尺度を明確に規定しようとしています。会議の参加者は、“リーフの包括的評価を行うことが急務とされている・・・”という結論に達しました。個々のリーフ状態を判断するのに十分な情報の“スナップ写真”を提供し、各リーフを世界中の他のリーフと毎年比較できる、新しいアプローチが必要とされていたのです。

調査法

1996年、私はサンゴ礁で初めての世界的調査計画案を作りました。その計画書草案は1996年下旬、NOAAコーラル・リストサーバーに載せられ批評を煽ぎました。計画案修正に続き“リーフチェック”と呼ばれる世界的調査プログラムがリストサーバーに公開され、調査チーム編成の呼びかけと共に、約40ページに渡る詳細なインストラクションがウェブサイトに(www.ust.hk/webrc/ReefCheck/reef.html)に載せられました。その基本概念は、それぞれ選定された場所における調査に責任を負う各国、地域、および地方のコーディネーター・ネットワークを作ることなのです。調査は2ヵ月半の期間に同一測定法を用いて行われ、データは香港科学技術大学の世界コーディネーターへ提出します。

サンゴ礁の健康指標

調査法の枠組みは、既存の測定法がモデルになりました。しかし、大きな違いとして、シアン化合物漁、観賞用魚漁、無脊椎動物捕獲など、人間活動の影響に関する調査のために、25の国および地域の“健康指標生物”が

選ばれました。“指標生物”選定規準は、1)現場で同定が容易であること、2)汚染や捕獲など人為的影響について、サンゴ礁健康情報が高密度であること、3)地理的に広範囲に渡って分布していること、が挙げられます。いくつかの指標生物に関しては、専門家でなくても同定ができるよう、種よりも科といった広い分類学上カテゴリーが用いられ、種は、特有の形や色によって確実に同定し得るときのみ用いられました。食用指標生物は市場価値が高く、例えば Palinuridae 科のイセエビや、Serranidae 科のハタは、8つの世界的指標生物の2つに選ばれました。地域的指標生物を選ぶために、海域は、インド-太平洋間、紅海、カリブ海に分けられました。固有魚類相のため、ハワイには幾つかの異なった指標生物が選ばれ、インド-太平洋海域の魚類調査にハワイの指標生物は含まれません。

インド-太平洋海域指標生物の1例は、ナポレオンフィッシュ(Cheilinus undulatus)です。この種は中国南部のレストランで好んで食される魚です。市場に供給するため、地域の潜水漁師は、ナポレオンフィッシュを気絶させて生きたまま捕まえるためシアン化ナトリウムを使い、大きいものほど良いとされるのです(Johannes and Riepen,1995)。香港では現在、ナポレオンフィッシュは1kgあたり約100US\$で売られています。調査で使われるサンゴ礁指標生物の全リストは、表1にあります。

調査場所の選定

調査場所の選定は、人間活動によってあまり影響を受けていないリーフが未だ存在するという帰無仮説をテストする目的に基づいていました。チームは、それぞれ担当の地域で“最良”と考えられる場所、すなわち、人間活動の影響を最も受けておらず、生サンゴ被覆度が最も高く、指標となる魚類および他の無脊椎動物個体数が最も多いと思われる外海に面した外洋礁斜面を調査するよう指示されました。このように、調査は作意的に、比較的良好な状態のサンゴ礁を対象にしました。

基準調査法

調査には4種類のデータ収集、37の質問と特記事項や歴史的データの記述、魚類調査、無脊椎動物調査、および底質調査が盛り込まれました。水中調査は、水深3mと10mの2本の等水深線に沿って行われ、それぞれの水深において、合計100mの長さを取れるよう、リーフの等水深線に沿って1本あるいはそれ以上の調査測線が置かれました。魚類調査は、作業のため逃げた魚が戻って来るのを15分待って行われました。指標魚の分類は、長さ20m、幅5mの4本のベルト測線(5m幅)に沿い、それぞれの水深(3mと10m)で400平方mの範囲に渡って記録されます。魚類はベルト測線内において5m毎に3分間記録されます。場所によっては、サンゴ礁は2つの水深のうち片方でしか見られないことがあ

表1

漁獲(OF), ダイナマイト漁(DF), シアン化物漁(CF), 観賞用魚漁(AF), 汚染(PL), 珍品収集(CR)の対象になるリーフチェック指標生物

指標生物	OF	DF	CF	AF	PL	CR
[世界]						
イセエビ類	X					
ハタ類(>30cm)	X	X	X			
多肉質海藻					X	
ハードコーラル					X	X
サンゴ死骸		X			X	
海綿					X	
チョウチョウオ類			X			
コショウダイ類	X	X	X	X		
[インド-太平洋地域]						
サラサハタ	X	X	X			
ナポレオンフィッシュ	X	X	X			
カンムリブダイ	X	X	X			
シャコ貝類	X					X
ウズイチモンジガイ	X					
食用ナマコ類	X					
オニヒトデ					?	
ホラガイ類						X
[カリブ海]						
ナツウグルーバー	X					
フエダイ	X					
ブダイ(>20cm)	X					
バラクーダ(>1m)	X					
Queenconch	X					X
Helmetconch	X					X

り、その場合1つのリーフだけ調査されました。幾つかの魚類に関しては、仕事量を制限するため、例えばダイバー4人のチームが1日に1つ調査を完了し、ハタ類は全長30cm以上のもののみ記録するというように、サイズに焦点を置いてデータ収集できるサイズ設定が設けられました(表1参照)。次に、同一のベルト測線が、無脊椎動物調査に使われました。無脊椎動物調査に引き続き、長さ20m4本の測線0.5m毎にポイント・サンプリング(点抽出)され、生ハードコーラル、サンゴ死骸、ソフトコーラル、多肉質海藻、海綿、岩、石くず、砂、沈泥/クレー、その他という10種の選択リストによって底質が記録されました。サンゴ死骸の定義付けは過去1年以内に死んだサンゴを対象とし、多肉質海藻の定義にはサンゴモは含まれませんでした。

データは前もってフォーマットされたスレートに記録され、チーム科学者によって現場でチェックされました。それからデータはFTPか電子メールで送られたマクロ・スプレッドシート(プログラムされたマクロが平均や標準偏差を算出)に記入されました。品質管理の一環として、これらのシートは分析に先立ち、再度エラーチェックするため本部に電送されました。あらゆる疑わしいデータや抜け落ちていたデータに関してチーム科学者に質問が送られました。サンゴの被覆度のみといった部分的なデータでも質の高いものは受諾されました。

チーム

初めてのサンゴ礁世界的調査が、1997年6月14日～8月31日間、表2にあるように31カ国、315カ所のリーフで、海洋科学者によりトレーニングを受け引率されたレジャーダイバーのチームによって行われました。リーフチェックには厳重な品質保証管理システムが採られます。チームは種同定写真をダウンロードし、ラミネートして水中に持って行くことができました。75人のチームリーダーのうち、58%が博士号あるいは修士号の保持者です。調査場所の数が多く、熱帯地方を取り巻く分布であることから、紅海のような密集した調査場所をそれぞれ区別するには大きな地図が必要であるため、ここには掲載されていません。調査位置地図がリーフチェック・ウェブサイトに載っています。不完全なデータセットが幾つかあるため、全ての調査場所がそれぞれの分析に取り入れられた訳ではなく、そのため各分析には凡例で“N”が付けられています。

調査結果と解析

イセエビ類

調査結果によると、高価な指標生物が非常に少ないことが解りました。世界的指標生物のうちイセエビ類は、調査されたリーフの85%では全く記録されませんでした(図1A)。インド-太平洋海域では、調査された169カ所のリーフからイセエビ類は33匹見つかっただけで、その内11匹はインドネシアの海洋保護区内にあるリーフ1カ所で記録されただけです。イセエビ類はカリブ海に多く生息し、紅海では全く記録されませんでした。調査法で岩の割れ目を探すよう指示しているため、多くのイセエビ類が見落とされたとは考えにくいのです。イセエビ類は一般的に昼間は岩穴に隠れ夜間に餌を求めて動き回りますが、その特有な外に向かって伸びる長く白い触角のため日中でも容易に見つけられます。旧い報告によると、イセエビ類はどのサンゴ礁でも豊富であったのです。1950年代には、フロリダのサンゴ礁で数時間・網漁をすれば、500kgものイセエビ類が捕獲できました(Davis and Dodrill, 1989)。1970年代初期には同じ地域でイセエビ類はまだ豊富で、数時間潜れば50kgのイセエビ類が捕れました(個人的観測)。イセエビ類がサンゴ礁でほとんど絶滅に近いという訳ではありませんが、過去50年に渡り、浅いフロリダのリーフではイセエビ類の個体数の激減が詳細に記録されており(Davis and Dodrill, 1989)、それが熱帯地方の至るところで繰り返されていることを調査結果は示唆しているのです。

ハタ類

ハタ類(>30cm)は毒物漁やダイナマイト漁などで、世界中で乱獲されており(Johannes and Riepen, 1995)、調査リーフの31%では1匹も記録されず、いても少数でした。ハタ

類は、種数が少ないカリブ海よりも、紅海やインド-太平洋海域に多く生息していました。合計20匹以上の大型ハタ類がモルデイブの2カ所、紅海の3カ所、パラオの4カ所で記録され、そこでは毒物による漁やダイナマイト漁は行われていませんでした(図1B)。パラオのリーフでは、恐らく何らかの漁による影響が過去にあったでしょうが、記録されたハタ類の大きさは、漁が行われていないリーフに関する基準個体数データが欠けている現在、暫定的な代用基準として役に立つでしょう。カリブ海では、貴重で豊富であったナツソウ・グルーパーは、調査場所54カ所のうち7カ所で見つけれませんでした(合計15匹)。たとえ漁が行われなくても、魚類を含めリーフに生息する生物の個体密度には、リーフ間およびリーフ内における生態変動が多く見られることが分かっています(Williams, 1991)。しかし、世界“最良の”リーフのうち270カ所を上回るリーフで記録された中型ハタ類の平均生息数(1リーフにつき1匹以下)は、1リーフにつき約20匹という基準数と比較すると低く、単純な説明としてハタ類は世界規模で捕獲され尽くしてしまったと言えるでしょう。

コショウダイ類

コショウダイ類(Haemulidae)に関するインド-太平洋海域および紅海の調査結果は、ほとんどの調査場所において1リーフにつき平均0匹あるいは1匹以下という、似かよった傾向を示しました。カリブ海では、コショウダイ類はイサキ科と margates に代表されます。カリブ海の約40%の調査場所で、1リーフにつき平均2匹から10匹が記録されました(図1C)。さらに、30%以上の調査場所からは、1リーフにつき平均10匹以上が記録されました。カリブ海よりもインド-太平洋海域が、コショウダイ類種が多い一方、捕獲レベルの違いばかりでなく、異なった属間での生物学的相違が、他海域よりカリブ海にコショウダイ類がより多く生息する原因であると思われる。

チョウチョウウオ類

チョウチョウウオ類(Chaetodontidae)の調査結果は、明らかな海域相違を示し、他の生物と異なっていました(図1D)。他の2海域と比べ、カリブ海ではチョウチョウウオ類の生息数が少ない調査場所が多かったのです。インド-太平洋海域で最も多いのは100平方mにつき4～6匹のクラスであるのに対して、紅海では最大数が100平方mにつき6～8匹でした。各海域からの基準データなしには、これらの相違が、インド-太平洋海域とカリブ海において報告されている観賞用魚貿易の高い漁獲量によって影響を受けてきたかどうか判断するのは困難です。カリブ海と紅海における種数は、インド-太平洋海域のそれぞれ10倍と5倍低いのです(Fishbase 1.0 CD-ROM, eds. R. Froese and D. Pauly, 1994, ICLARM, Manila)。全く漁が行われないリーフを繰

表2. リーフチェック調査場所の位置と数

位置	合計数	調査場所のナンバー
アメリカ領サモア	1	1
オーストラリア	15	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
バハレーン	1	17
バルバドス	5	221, 222, 223, 224, 225
ベリーズ	4	226, 227, 311, 312
ボネール	1	228
英領ヴァージン諸島	3	229, 230, 231
ブルネイ・ダルサラーム	1	18
コロンビア	3	232, 233, 239
キューバ	2	313, 314
エジプト	55	166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220
フィジー	7	19, 20, 21, 22, 23, 24, 25
フロリダ	24	234, 235, 236, 237, 238, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258
ケイマン諸島	1	259
グアム	1	26
ホンジュラス	1	260
香港	5	27, 28, 29, 30, 31
インドネシア	26	32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57
イスラエル	1	165
日本	2	58, 59
マレーシア	73	60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 307, 308, 309, 310
モルジブ	30	110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139
メキシコ	7	261, 262, 263, 264, 265, 266, 267
モザンビーク	1	140
ニューカレドニア	3	141, 142, 143
パラオ	2	144, 145
パナマ	2	268, 269
フィリピン	13	146, 147, 148, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299
セイシェル	6	150, 151, 152, 153, 154, 300
台湾	14	155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 301, 302, 303, 304, 305, 306
タンザニア	2	163, 164

り返し調査することが、これらの結果を分析するのに必要 です。

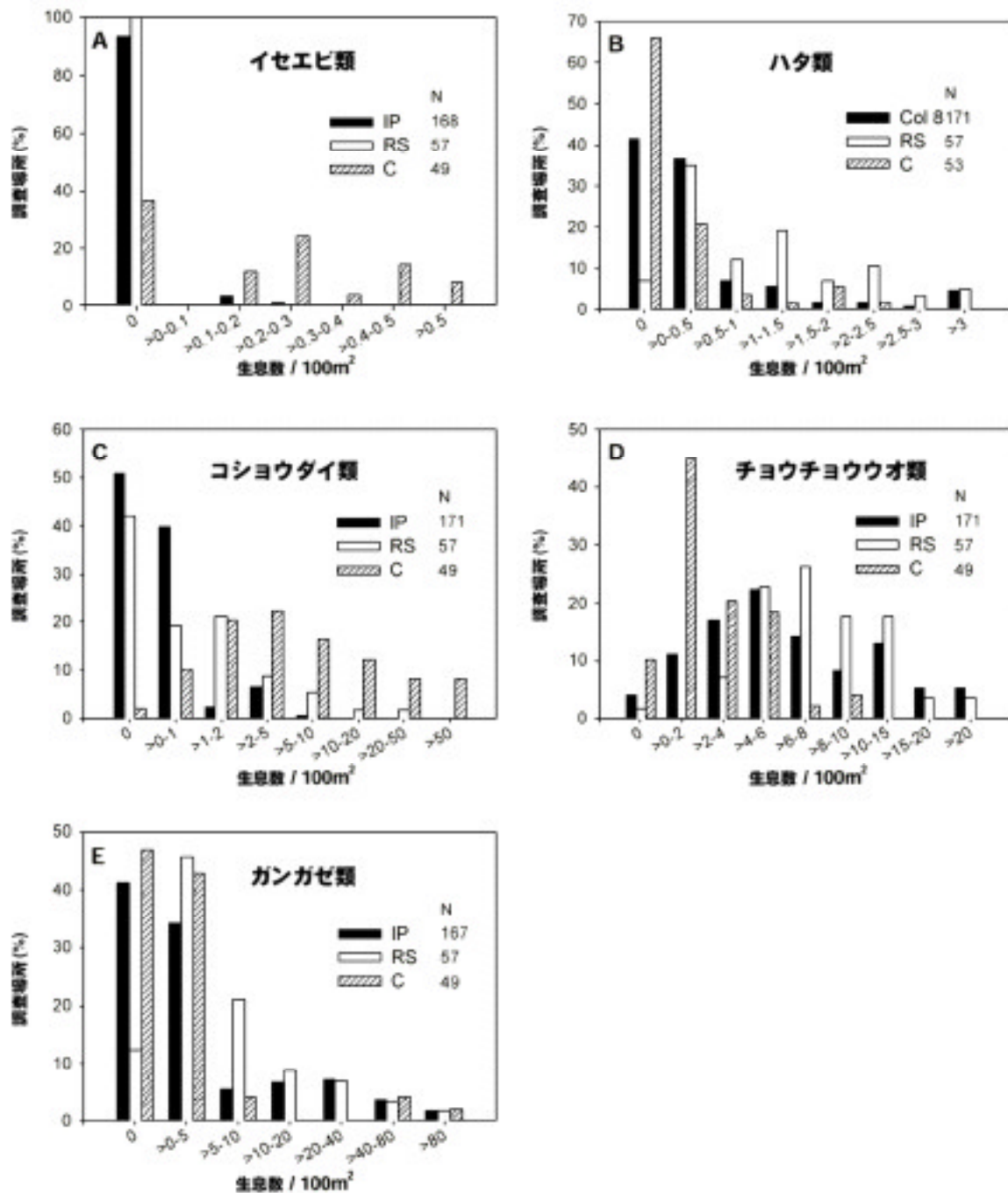


図1. 3地域(インド-太平洋間(IP); 紅海(RS); カリブ海(C))の世界的指標生物の生息数クラスにおける調査場所の度数分布。生息数クラスは、8つの100m²ベルト調査測線エリアで記録された指標生物の平均生息数に基づいている。イセエビ類(A)は、インド-太平洋間の調査場所の90%以上、カリブ海の調査場所のほぼ40%、紅海の調査場補の100%において、全く記録されなかった。(B)ハタ類、(C)コショウダイ類、(D)チョウチョウウオ類、(E)ガンガゼ類。

ガンガゼ類

ガンガゼ属ガンガゼの多生息数は、魚類個体数の不均衡の二次的指標であるかもしれませんが(McClanahan, 1995; Roberts, 1995; McClanahan et al., 1996)。イセエビ類同様、ガンガゼ類も夜行性食性ですが、日中でも容易に見つけられます。調査結果によると、ガンガゼ類の個体数は調査リーフのほとんどで高くないようです(図1E)。

ハードコーラル

“最良の”調査場所選定に基づいて調査されたハードコーラルは、魚類や甲殻類よりも世界的にましな状態でした(図2)。リーフの生サンゴ平均被覆度は世界的には33%で、カリブ海では他の2海域より遥かに低く21%でした(p<0.001)。これらの調査結果は、近年カリブ海の多くの調査場所でサンゴ被覆度激減の報告と一致しています

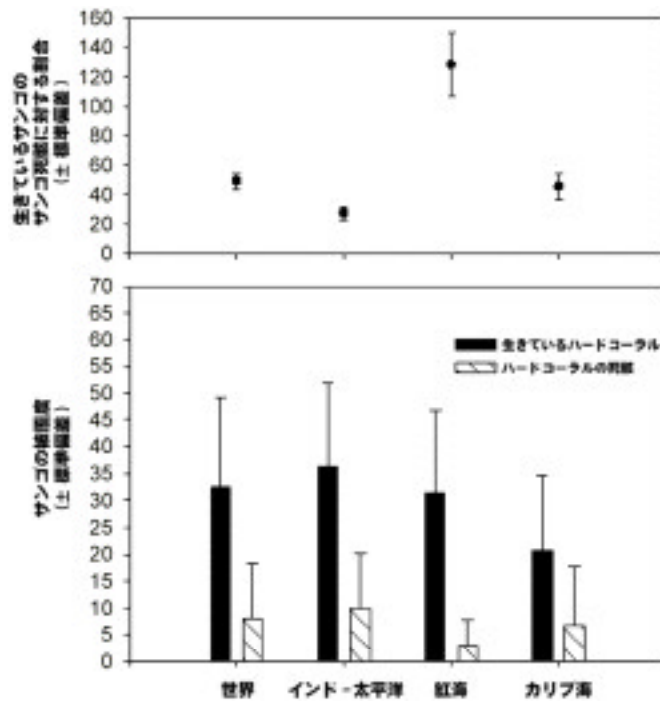


図2. 世界と地域の調査結果: (A)生きているサンゴとサンゴ死骸の被覆度と、(B)生きているサンゴのサンゴ死骸に対する割合。

(Hughes, 1994)。生サンゴの死サンゴに対する割合は、他の2海域より紅海が最も高く ($p < 0.001$)、紅海が世界中で最も健康なサンゴであることを示しています。世界“最良の”調査場所の幾つかで記録された海域平均は、以前のリーフ評価に用いられた、遥かに高いサンゴ被覆度の有効性に疑問を投げかけるものです (Luchavez and Alcala, 1988; Wilkinson et al., 1993; Munro and Munro, 1994; Grigg and Birkeland, 1997)。

多肉質海藻

多肉質海藻は、下水による汚染と関連した富栄養化の指標として選ばれました。ほとんどのチームは、この調査では比較的汚染されていない海域を選び、18ヵ所の調査場所だけが10%以上の多肉質海藻繁茂を示しました。植食、季節、その他の要素も多肉質海藻レベルに影響を与えますが、下水汚染による富栄養化は、この調査では一般的ではない都市部に近いリーフにおいてより重要であると結論づけるのが論理的でしょう。

海綿

いくつかのリーフでは、海綿が広範囲に渡り広がっていると、栄養素のレベルが高いか、あるいは他の問題が存在する場合です (Wilkinson, 1987)。海綿被覆度は、どの調査場所においても高くありませんでした。インド-太平洋地域と紅海の10%以下の調査場所と、カリブ海の30%の調査場所では、海綿の被覆度は5%以上でした。この地域的な相違は以前にも報告されていました (Wilkinson, 1987)。

クラスター分析(群分析)とランク付け

3つの付加的分析が、世界的指標生物に関して行われました。全ての調査場所における、8つの世界的指標生物のうち6つ(海綿とサンゴ死骸は除く)の間の関係を調べるため、ブレイ-カーティス(Bray-Curtis)類似指数を用いてクラスター分析が行われました(図3)。使用されたソフトウェアは、PRIMER(Plymouth Marine Laboratory, UK)でした。生息数配列がブレイ-カーティス類似指数を用いて変換され、グループ平均連結技術(Clarke and Warwick, 1994 参照)を用いて系統樹が構成されました。79%のレベルで“切断する”と、17個のグループができます。これらのグループを3レベル生息数にさらにランク付けしていくと、その結果は、それぞれが異なった特徴を持つ9つのグループにまとめられます(図3A-I)。1つのグループ内で記録された各生物の相対数をランク付けするために、ある生物の最大数を記録する10ヵ所の調査場所におけるその生物の平均生息数が、最大可能値として用いられました。この最大可能値は3等分され、底部3分の1=“非常に低い”、中部3分の1=“低い”、上部3分の1=“中程度”という記述子が付けられました。各グループそれぞれの生物に対して別個の平均値が計算され、記述子が付けられました。同じ記述子を共有しているグループは、系統樹上の位置にかかわらず、図3A-Iと一緒に示されています。ある生物の生息数記録が“0匹”である調査場所を、その生物の平均生息数が0に近い調査場所のグループとは異なるグループに置くクラスター計算法のため、これらのグループは必ずしも系統樹上互いに隣