

コーラル以外の全指標生物生息数が“非常に低い”という特徴を共有しています。第2番目のセット(図3B)には、全指標生物に関して“非常に低い”とランク付けされた最少の生息数を有する3つのグループ(2、7、9)が含まれますが、調査場所6カ所が含まれただけで、紅海の調査場所は全く含まれていません。グループ3(図3C)は、コショウダイ類の“中程度”の生息数レベルを有するカリブ海の調査場所2カ所が含まれるだけです。グループ4-6(図3D)は、“低い”イセエビ類を除いた全ての指標生物に関して、“非常に低い”レベルを特徴とするカリブ海の調査場所(1カ所の例外有り)です。グループ8(図3E)もこれらの特徴を共有しており、さらにハタ類に関して“低い”生息数レベルを有しています。ガンガゼ類の“中程度”のレベルを示している5カ所の調査場所の中に(グループ11)紅海の調査場所は全くありませんでした。グループ12は一般的に最大生息数を有していましたが、調査場所2カ所を含んでいるだけです(図3G)。グループ13とグループ15は共に(図3HとI)、チョウチョウオ類の“低い”生息数を特徴とする主にインド-太平洋地域の91カ所の調査場所を含んでいます。

サンゴ礁の健康と距離・人口指数

世界的な調査結果と他のパラメータとの関係をさらに調べるために、サンゴ礁健康指数(CRHI)と距離・人口指数が計算されました。CRHIは、3地域の269カ所における8つの世界的指標生物のうちの6つ(チョウチョウオ類、コショウダイ類、ハタ類、ガンガゼ類、ハードコーラル、イセ

エビ類)を用いて計算されました。世界のどの調査場所においても、記録されたある生物の最大平均生息数は、底部3分の1、中部3分の1、上部3分の1を決めるための最大可能値として用いられました。それから各調査場所に対し、各部分3分の1の限界レベルと比較して、平均生息数のレベルによって各指標生物に0-3の値が付けられました。底部、中部、上部3分の1における平均値には1、2、3の値がそれぞれ付けられ、ゼロ平均は0と付けられました(数が多ければ有害であると考えられるため、値が逆になるガンガゼ類を除く)。CRHIは、6つの値を一緒に足して計算されました。CRHIの最大可能値は、6指標生物×3=18になります。距離・人口指数(DPI)は以下のとおり、最も近い都市の人口とその都市への距離の両方にスコアを付けることによって計算されました。人口0-10,000=0; 10,000-50,000=1; 50,000-100,000=2; 100,000以上=3 となり、距離50km以上=0; 25-49km=1; 10-24km=2; 0-9km=3 となります。DPIは、人口サイズと距離のスコアの合計として計算されました。指数が高いほど、その調査場所が人口密度の高いところに近いことを意味しており、DPIの最大値は6になります。CRHIの最大可能値18から、CRHIの平均値は、インド-太平洋地域、紅海、カリブ海でそれぞれ3.8,4.0,3.5でした。3海域の値には大きな相違は見られませんでした(Kruskal-Wallis ANOVA)。CRHIのスコアが低いこともまた、記録された指標生物の大きい生息数を有する調査場所がいかにか少ないかということを示唆しているのです。CRHI値に対する距離・人口指数のグラフによると、サバ(Sabah)の3カ

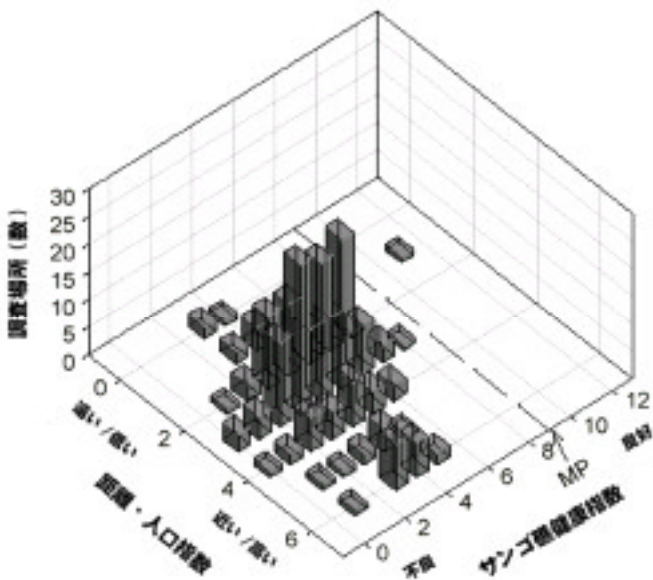


図4. サンゴ礁健康指数 vs. 距離・人口指数のグラフ。
最大CRHI=18, MP=9

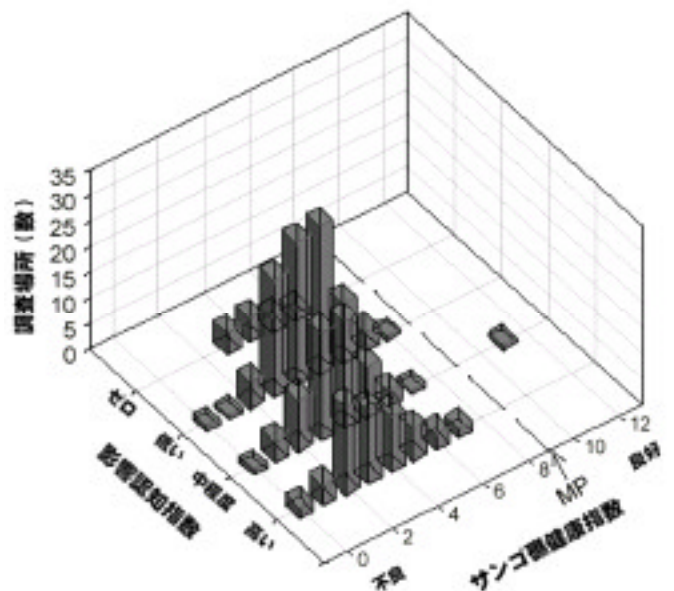


図5. サンゴ礁健康指数 vs. 影響認知指数のグラフ。
座標上"隠れている"調査場所が5カ所ある:
IPI="ゼロ"、CRHI=5あるいは6。

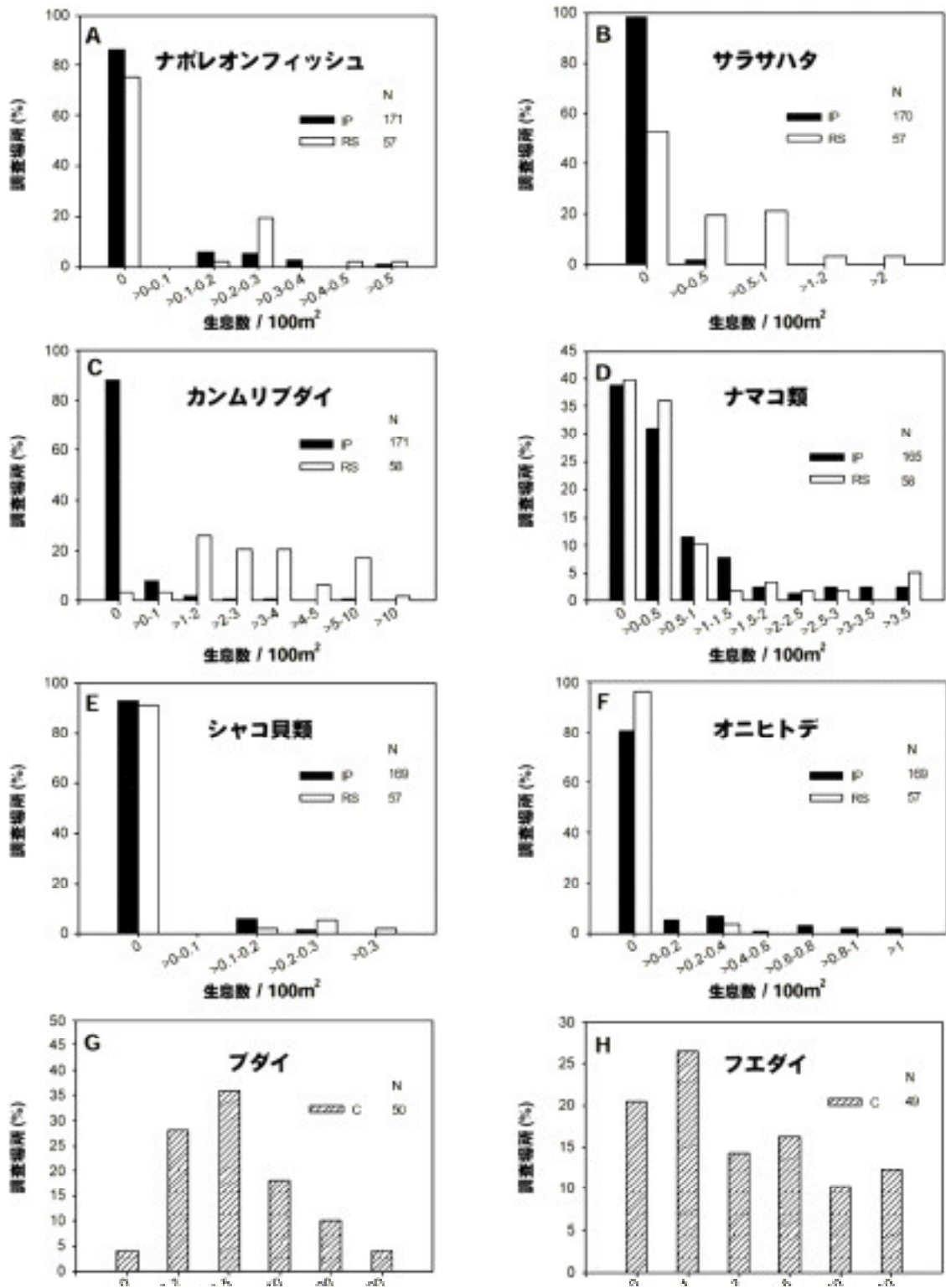


図6. 地域的指標生物の生息数クラスにおける調査場所の度数分布。
 インド-太平洋間の指標生物: (A)ナポレオンフィッシュ、(B)サラサハタ、(C)カム
 ムリブダイ、(D)ナマコ類、(E)シャコ貝類、(F)オニヒトデ;
 カリブ海の指標生物: (G)ブダイ、(H)フエダイ。

所のリーフを除いて全てのリーフが、中間点(図ではMP)CRHI値9以下にあることが解ります(図4)。2つの指数間には強い相関関係がある一方($r=0.97, p<0.001$)、人口が集中している場所から遠く離れたところにあるかなり多くの調

査場所が、低い健康指数を示していました。例えば、人の住んでいないボルネオ東岸沿いの調査場所50カ所のほとんどでは指標生物の生息数が非常に少なく、恐らくアジアの他地域からやってきた漁師たちが行うと思われるダイナマ

イト漁による深刻なダメージの形跡が見られました。この形跡は、人口密集地から離れたリーフは、近いリーフよりもより良い状態にあると思われるというマイアミ会議での合意と対照をなしているのです。

リーフ予測に対する現状

全ての現地チームは、それぞれの調査場所に及んでいると思われる全般的な影響のレベルを主観的に評価するよう求められました(ゼロ-高い)。CRHIに対してこれらの評価を座標上に置くと、実際の影響と認知された影響の間に強い相関関係($r=0.98$, $p<0.001$)が見られます(図5)。しかしながら、チームリーダーたちが“低い”から“中程度”の影響を受けているとランク付けした、CRHI値の低い(例えば、4以下)多くの調査場所に注目することが重要です。この比較によって、人為的影響は、経験ある観測者が予測するよりもより一般的でより深刻なものであると言えるかもしれません。1つの説明としては、長期間に渡って影響を及ぼす可能性のある季節漁や夜間の漁のような人間活動は、概して観測されていないということなのです。

インド-太平洋海域と紅海の魚類

インド-太平洋海域と紅海の調査結果を調べてみると、ナポレオンフィッシュとサラサハタは、調査したリーフ171カ所のそれぞれ86%と98%から姿を消していました(図6AとB)。調査されたインド-太平洋海域の25kmを越えるリーフでは、たった46匹のナポレオンフィッシュが見られただけでした。調査された124カ所のアジアとオーストラリアのリーフでは、3匹のサラサハタしか記録されませんでした。これらの結果が示しているのは、こういった種をターゲットにしているシアン化合物を用いた漁法などにより、かつては割合豊富であった種の個体数が著しく減少したということなのです(Johannes and Riepen, 1995)。カムリブダイの調査結果も同じように(図6C)、調査場所の67%で1匹も記録されませんでした。ブダイとベラを見つけた場合、これらの魚類はリーフでの定住性よりもむしろ回遊性で知られているため、たとえ調査測線外であってもカウントに入れられました。ベトナムの4カ所の人里離れたリーフにおける最近の調査で、私は全長0.5m以上のカムリブダイを1カ所のリーフで最高9匹記録し、他のリーフそれぞれにおいては少なくとも2匹の大きなカムリブダイを記録し、それによって基準レベルがどのようなものであるかがある程度解りました。

ナマコ類、シャコ貝類、ホラガイ類

食用ナマコ類は、以前はインド-太平洋海域の多くのリーフ周辺海底で豊富でしたが、100年以上にも及ぶ集中的な捕獲にさらされてきました。この調査に含まれている4種は、調査されたインド-太平洋地域のリーフの39%では全

く姿を消してしまい、他の調査場所では少し見つかっただけでした(図6D)。平均11個体のシャコ貝類(*Tridacna* spp.)が、インド-太平洋間のリーフで見つけられました。紅海やオーストラリアの幾つかの保護区では150~250個体のシャコ貝類が記録され、それによって自然個体数の可能な最大サイズが解ります(図6E)。ホラガイ類は貝の収集家にとって魅力のあるものですが、調査されたリーフの90%から姿を消していました。貝類の貿易が世界的産業になる以前、この動物が豊富であったかどうかは分かっていません。

オニヒトデ

人間活動とオニヒトデ(*COTS/Acanthaster planci*)の周期的な大発生との関係が示唆されてきました(Birkeland, 1982)。調査結果は、1997年インド-太平洋間と紅海両方の地域において、記録されたCOTSの生息数は少ないことを示しています(図6F)。

カリブ海の魚類

カリブ海におけるブダイの調査結果はチョウチョウオ類の結果と似ており、100平方mにつき最高2-5匹でした(図6G)。それとは対照的に、フエダイの異なった生息数クラスにある調査場所の数には比較的一様な分布が見られました(図6H)。

香港のリーフ

香港では、ほとんどあらゆるタイプの被害を受けているサンゴ礁の例が見られます。“最良の”リーフでさえ、濫獲、毒物やダイナマイトによる漁法、汚染や堆積にさらされているのです(Hodgson, 1997)。収集できる、あるいは食用の指標生物11種類のうち、たった2種類(ウズイチモンジガイとチョウチョウオ類)しか記録されませんでした。イセエビ類を含む、これらのかつては豊富であった生物の幾つかは、現在香港では事実上絶滅したようです。変化は非常に速いものでした。1976年に撮られた写真には、香港のクリアーウオーター湾で1時間潜れば20匹以上のイセエビが捕れたことが示されているのです(Wong, 1996)。

結論

リーフチェックと呼ばれる世界的なサンゴ礁調査プログラムは、1997年成功裏に終えました。短い期間中に世界中の多くの調査場所において、同一調査法を用いる総観的調査の目的は達成されましたが、プログラムには幾つかの制限があります。調査場所は以前のどの調査よりも遥かに広い地理的領域をカバーしましたが、調査が全く行われていないサンゴ礁を有する国が未だ約70カ国もあるのです。さらに重要なこととしては、300カ所を越える調査場所のサンプル・サイズは、サンゴ礁の健康についてその地方お

よび地域的な解釈がなされるよう、理想としては毎年調査されなければいけない数千カ所の調査場所と比べると小さいのです。世界的に見ると、この調査において紅海の調査が多すぎたのに対し、カリブ海の調査は少なすぎました。将来、調査数や頻度を増やすことによって、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のに価値ある方法を提供できるかもしれません。調査結果は、管理活動の成功や失敗を評価するのに役立つかもしれないのです。

乱獲

ほとんどの指標生物に関して多生息数を記録したリーフはなく、それは漁や採集によって影響を受けていないリーフは、たとえあるとしても非常に少ないことを示しています。調査は良好な状態にある調査場所へ偏るよう計画されたため、都市や汚染源から遠く、汚染指標(海綿や多肉質海藻)被覆度が低いことは、下水による汚染はほとんどの調査場所において深刻な問題ではないことを示しています。乱獲に関する結論をまとめて考えてみると、これらの結果から、地球規模でのサンゴ礁に対する人間活動影響に関する以前の見解は、乱獲に比べ汚染の重要性を過度に強調し過ぎていたと言えるかもしれません(Johannes, 1975)。別の言い方をすれば、世界のリーフのほとんどは都市の近くには位置していないため、下水や工業汚染がほとんどのリーフに強い影響を与えたと考えにくいのです。魚類主要種の乱獲、その生息数の減少は、サンゴ礁生態系の物理的崩壊につながり得ます(McClanahan, 1995; Roberts, 1995; McClanahan et al., 1996)。

変化する基準の問題

このデータセットを解釈するに際し最も困難なのは、“変化する基準の問題” なのです(Pauly, 1995; Sheppard, 1995)。漁が広く行われる前、リーフに生息する生物個体数はどんなものであったかを記述している量的データはほとんどありません。一般に、人間の一生の間に起こる変化は認知され、少なくとも漁師やダイバーたちによる話として報告されます。しかし、変化が数100年に渡って起こった場合、現在の数字よりも一桁以上大きいかもしれない元の基準を推定するのは難しいのです。例えば Jackson (1997) は、ジャマイカにおける魚類の個体数は100年以上前に既に損なわれているという確かな形跡を提供しており、この状況はよくあることと示唆しています。彼はまた、広く行き渡った漁に加え、サンゴ礁生態系に大きく影響するウミガメ、ジュゴン、マナティーなどの大型草食動物の個体数が歴史的に見て現在よりも遥かに大きかったため、元のままのリーフは全く残っていないことも示唆しました。

元の基準なしに世界の調査データを解釈するために、

記録された動物の最大生息数が、どのようなものであるか考えられてきました。これがCRHIの基礎なのです。もしこの保守的な想定が妥当であるならば、調査結果が示しているのは、需要は、高価値食用種の収穫可能な供給を遙かにしのいでおり、漁獲過剰によって世界中の浅いリーフにおける個体数が低いレベルにまで落ち込んでいるということなのです。サンゴ礁から“魚を捕り尽くす” のが何故そんなに容易なのかという生物学的根拠が Birkeland (1997) 氏によって説明され、氏はいかなるリーフにおいても輸出用の商業的捕獲は許されるべきではないと促しています。

海中公園

近年、非常に多くの海洋保護区域が世界中で設けられましたが、残念ながらこれらの多くは、あまり効果的な管理のなされていない“名目上の海中公園” なのです(Hodgson, 1992)。グレートバリアリーフ海中公園のような管理の行き届いた保護区でさえも、公園内での違法な漁が報告されています(Robertson, 1998)。海洋保護区域内にある調査場所のCRHIの平均値(CRHI=3.7, n=72)を、保護されていない調査場所の平均値(CRHI=3.8, n=197)と比べてみると、大きな相違は全くありませんでした(t-test)。この調査結果が示しているのは、概して、管理が効果的でないか、あるいは、指標生物の個体数を増やすための管理をするには未だ時間が足りないかのどちらかであるということでしょう。CRHIは合成指数であるため、数カ所の海中公園で数種の生物に関して比較的多数の生息数が記録されたからといって、これらの調査場所に高いCRHI値を付けるには十分ではないのです。調査結果はスナップ写真であり、この質問や他の重要な質問に答えるべく、リーフに生息する魚類や無脊椎動物の種個体数がどれくらい減少し、なぜ減少しているのかを測定するには、より詳細な指標生物評価や、均一化された評価モデルの適用が非常に重要であることを示唆しているのです。

解決法

この調査によって報告された問題解決の第一歩は、サンゴ礁に生息する幾種かの生物が深刻な地球規模での危機に瀕しており、したがってサンゴ礁健康も同様に脅かされているという事実を認識することなのです。可能な活動としては、漁船の動きを国際衛星でモニタリングするなど、新しい方法と共に従来の方を通過して漁をより厳しく規制すること; 海洋保護区が周りの海域にとっての“苗木” として役に立てるよう、海中公園の数や規模を実質上増やし、その管理を改善すること(Johannes, 1998); サンゴ礁が供給し得ないシーフードや他の生産物の拡大する需要を満たすため、リサーチを拡大しサンゴ礁に生息する高価値生物の水産養殖の試験をすること; シアン化合物を用いて捕らえる生きた魚、特にダイビング観光産業にとって高い価値を

有し繁殖に大いに貢献する大型生物に対する需要を減らすため、教育と法律を用いることなどがあります。最後に、リーフチェック・プログラムはサンゴ礁の価値やその健康への脅威に関する人々の認識を高め、リーフチェックに参加することは1つの解決法になります。資金提供して下さっている機関、政治家、天然資源を管理する人々は今、これらの達成可能な解決策の実施に専念しなければいけないのです。

データ管理、グラフ製作、統計テストに関し御尽力いただいたS.Geermans氏、T.Fong氏、K.Kei氏、T.Cheung氏に御礼申し上げます。何百もの企業、大学、政府省庁、NGO、世界中の個々人の皆様、国や地域コーディネーターの皆様、チーム科学者やリーダー(以下記載)の皆様、そして、この論文で分析した調査結果を生み出すため、自らの時間と費用を有志で費やして下さった、リーフチェック97世界調査プログラムの750名を越える参加者の皆様からの御支援に心から感謝致します。“完璧な”調査の考案に際し助言くださった多くの科学者の皆様、および原稿に関しコメントくださったC.Birkeland氏、R.Kinzie氏、W.Hamner氏、C.Wilkinson氏に御礼申し上げます。我々の非公式科学委員会のM.Milicich氏、J.Lang氏、R.Grigg氏、またリーフチェックを始動させて下さったR.Ginsburg氏、HKUSTを通して財政支援して下さったJ.Chen氏、大学内に生活の場を提供して下さったG.Heinke氏に特に感謝の意を表したいと思います。リーフチェック科学者とリーダーの方々には以下のとおりです: M. Abe, T. Adami, L. Adhyasko, E. Arias, R. Aryasari, R. Berkelmans, J. Breman, D. Byron, J. C. Chang, M. S. Cheng, C. H. Chung, R. Claro, L. Colin, A. Cornish, P. Crevello, A. Darbyshire, C. Davies, S. Dorsey, A. Dunstan, M. Eisinger, U. Ertfurth, H. Evans, J. Feingold, N. Galvis, G. Garcia, M. Gektidis, L. Goh, R. Gomez, F. Grothe, A. Gruber, M. Guard, J. Guest, A. Haas, C. Hall, A. Harborne, B. Haskell, M. Hassan, G. Heiss, T. Hodson, I. Horsfall, C. Hunter, S. T. Hwang, D. Hyde, T. Itou, E. Karath, S. Kegeles, C. Kievman, J. Lang, G. Lilley, C. K. Loh, V. Lubini, J. Lun, H. Malcolm, D. Martinelli, J. Massey, D. McCorry, K. De Meyer, T. Moore, R. Murphy, B. Neill, N. Noya, S. Oakley, J. Olds, J. Oliver, M. Page, S. Pasaribu, C. Petrovic, J. Phipps, N. Pilcher, I. Popple, A. Put, K. Putra, N. Quinn, A. Rahmat, M. Roberts, S. Romano, A. Salih, H. Schielly, S. Searcy, G. Setyadi, M. Short, K. Soong, A. Stone, R. Thorn, G. Usher, R. Uwate, V. Vahrenkamp, H. Vicentini, D. Wachenfeld, U. Waeber, L. Wantiez, A. White, M. Whittington, I. W. Widjatmoko, K. Wilson, G. Woerheide, E. Wood, H. Zahir, P. Ziegler.

参考書目

- Birkeland, C. (1982) *Terrestrial runoff as a cause of outbreaks of Acanthaster planci (Echinodermata: Asteroidea)*. **Marine Biology** **69**, 175-185.
- Birkeland, C. (1997) **Life and Death of Coral Reefs**, Chapman and Hall, New York.
- Clarke, K. R. and Warwick, R.M. (1994) **Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation**, Plymouth Marine Laboratory, UK.
- Davis, G. E. and Dodrill, J. W. (1989) *Recreation fishery and population dynamics of spiny lobsters, Panulirus argus in Florida Bay, Everglades National Park, 1977-1980*. **Bulletin of Marine Science** **44**, 78-88.
- English, S., Wilkinson, C. and Baker, V. (1997) **Survey Manual for Tropical Marine Resources**. Australian Institute of Marine Science, Townsville, Australia.
- Froese, R. and D. Pauly, (1994). *Fish base User's Manual. A Biological Data base on Fish. International Center for Biological Data base on Fish. International Center for Living Aquatic Resources Management, Makati, Manila, Philippines.*
- Gribble, N. A. and J. W. A. Robertson, (1998). *Fishing effort in the far northern section cross shelf closure area of the Great Barrier Reef Marine Park: The effectiveness of are closures. J. Environmental Management* **52**(1), 53-67.
- Grigg, R. W. and Birkeland, C. (1997). **Status of coral reefs in the Pacific**. Sea Grant College Program, School of Ocean and Earth Science and Technology, University of Hawaii, Honolulu, HI, USA.
- Hodgson, G. (1992) *An alternative to paper parks. In Proceedings of the International Conference on Conservation of Tropical Biodiversity, Kuala Lumpur 12-16 June, 1990*, eds. S. K. Yap and S. W. Lee, pp158-165. Malayan Nature Society, Kuala Lumpur.
- Hodgson, G. (1997) *Opportunities for marine conservation in Hong Kong and Southern China. In Proceedings of the First International Symposium on Marine Conservation, Hong Kong 26-27 October, 1996*, ed. B. W. Darvell, pp5-15. The Hong Kong Marine Conservation Society, Hong Kong.
- Hughes, T. P. (1994) *Catastrophes, phase shifts, and large-scale degradation of a Caribbean coral reef. Science* **265**, 1547-1551.
- Jackson, J. B. C. (1997) *Reefs since Columbus. In Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium, Panama, June 24-29, 1996*, eds. H. A. Lessios and I. G. Macintyre, Vol.1, pp. 97-106. Smithsonian Tropical Research Institute, Panama.

- Johannes, R. E. (1975) *Pollution and degradation of coral reef communities*. In **Tropical Marine Pollution**, eds. J. F. Wood and R. E. Johannes, pp13-51. Elsevier, Oxford.
- Johannes, R.E. and Riepen, M. (1995) **Environmental, Economic, and Social Implications of the live reef fish trade in Asia and the Western Pacific**, *The Nature Conservancy*.
- Luchavez, T. F. and Alcala, A. C. (1988) *Effect of fishing pressure on coral reef fishes in the central Philippines*. In **Proceedings of the 6th International Coral Reef Symposium, 8-12 August, 1988. Townsville, Australia, 1988**, eds. J. H. Choat et al. Vol. 2, pp251-254.
- McClanahan, T. R. (1995) *A coral reef ecosystem-fisheries model: Impacts of fishing intensity and catch selection on reef structure and processes*. **Ecological Modelling** **80**, 1-19.
- McClanahan, T. R., Kamukuru, A. T., Muthiga, N. A., Yebio, M. G. and Obura, D. (1996) *Effect of sea urchin reductions on algae, coral, and fish populations*. **Conservation Biology** **10**, 136-154.
- Munro, J. L. and Munro, P. E. (1994) **The Management of Coral Reef Resource Systems**. *International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila*.
- Roberts, C. M. (1995) *Effects of fishing on the ecosystem structure of coral reefs*. **Conservation Biology** **9**, 988-995.
- Sheppard, C. (1995) *The shifting baseline syndrome*. **Marine Pollution Bulletin** **30**, 766-767.
- Wilkinson, C. R. (1987) *Interocean differences in size and nutrition of coral reef sponge populations*. **Science** **236**, 1654-1657.
- Wilkinson, C. R., Chou, L. M., Gomez, E., Ridzwan, A. R., Soekarno, S. and Sudara, S. (1993) In **Proceedings of the Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazards and History, 1993**, compiler R. N. Ginsburg, pp. 311-317. *University of Miami, Florida*.
- Williams, D. M. (1991) *Patterns and Processes in the Distribution of Coral Reef Fishes*. In **The Ecology of Fishes on Coral Reefs**, ed. P. F. Sale, pp. 437-476. *Academic Press, New York*.
- Wong, J. (1996) *Marine life Hong Kong - the way we are*. **Sport Divers Journal** **9**, 76-79.