

わが国における博物館型活動と地球環境科学への展開 をめぐって その2 造礁性サンゴ, サンゴ礁等の生態・古生態を視座に据えて

濱田隆士

福井県立恐竜博物館, 放送大学, 日本科学協会

HAMADA, Takashi (2003) Museum activities of Japan and some developmental approaches to the environmental science of the Earth—Part 2—On the bases of ecological and environmental aspects of reef-building corals and coral reefs—. Mem. Fukui Pref. Dinosaur Mus. 2: 171-196.

要 旨

総論として連載を企画しているので、主旨の理解を広く受け止めてもらうために、目次を章・節のレベルで羅列した。

1. まえがきに代えて
2. 日本でのサンゴ礁古生態の諸問題
 - i 中～古生代でのケース (地史上の第一級絶滅事件前後)
 - ii 新生代でのケース (K/T境界問題; 日本で新発見が続く中新世原地性サンゴ礁)
 - iii 第四紀でのケース (隆起サンゴ礁での話題)
3. 日本を視点においたサンゴ礁生態学
 - i ベロンの業績 から パラオ熱帯生物研究所とその後 まで
 - ii サンゴ礁を代表とする “生物礁” 生態の複雑性
 - iii 造礁サンゴ類分布限界を決める諸要因
4. “サンゴ礁” をとりまく環境科学
 - i 複雑系としての広領域 超領域科学の捉え方 (立体目次)
 - ii “網目状進化” と称するベロン流のサンゴ種群分類が胎む諸問題
 - iii 近年のサンゴ類原色図鑑等にみられる “生態系” について
5. あとがきに代えて

キーワード : 造礁性サンゴ, サンゴ礁, 生物礁, 環境の多様性, 造礁性サンゴ類の南北分布限界, サンゴ礁 (古) 生態学, 網目状進化, 超領域科学, 複合生物, 動態学.

第1章 まえがきに代えて

地球生物界として最も多様性が高いのは、陸上では熱帯多雨林、海中ではサンゴ礁域だと言われる。多様性が高い (堀, 1980; 小西 (編), 1975; 高橋, 1988ほか) という事は、とりも直さずそれらが複合系あるいは複雑系として認識されるという現実に結びつく。また、海にまつわり、しかもサンゴ類に見られる生態には、不思議もまた少ない (森, 1986)。実のところ、これらの生態系は少くとも

ヒトやその社会との関わりを裏付けにしたものであることが多く、環境科学としても自然史 (誌) 科学のみならず人文・社会系～技術・芸術系との融合・癒合を含めて、メタ地球の姿の中に位置づけられるべき (濱田, 2002b)、との理想型が成り立つことは十分に考えられる。それは、ただ単にカリキュラム上で『複合の科学』とか『総合の科学』と称されるものより、はるかに高次のシステム科学論的見地から構築されねばなるまい。言うなれば、立場としては俯瞰的広視野のもとで、広領域～超領域分野を扱うことが要求されることに他ならない。

そこには、未だに学としては成立がおぼつかない多くの分野があり、近代社会の今、その数は予想すら立てにくいとみられている。いわゆる博物館・美術館、動・植物園、

水族館、科学館等を核にしなが、それらのうちごくポピュラーな部分での、広域諸分野の相互作用が期待されるのである。つまり、いわゆる博物館型活動がその懐の深さを示す絶好の場となる（濱田，2001）に違いあるまい。例えば、海中生態系としてのサンゴ礁はただ単に狭義のサンゴ礁だけでなく、数多くの造礁性生物、すなわち礁構成物（frame builders）形成に関わる殻や骨格分泌型の“有骨格動物体”に加え、多種多様の“住民達”（inhabitants）、さらにはマングローブ植生を中心にした海浜性植物相の存在（Jackson et al., 2001；茅根・宮城，2002；Wolanski, 2001）を忘れることはできない。

“不幸にして”こうした海中生態系の在り方は、現代社会での所謂地球環境問題の中の最先端を占める場合が少なく、人為の影響を全く無視してかかることは到底不可能である（Mann, 2000）。このような諸問題を真当にとりあげるには、日本ならずとも世界的レベルでの“博物館センス”が不足し、サンゴ類専門博物館の存在すら実に僅かか、あるいは敢えて言うなら皆無に近い、という厳しくも寂しい状況をまずは把握しておかねばなるまい。いわゆる最先端科学にもこれと類似の事態が見出せるような気がするが、今のところ、広義の工学分野を中心にした物の考え方と自然史（誌）上の実態との呼吸がうまく合っていない、という視方も成り立とう。

仮にターゲットをサンゴ礁学やその環境に絞ったとしても、それは大小様々かつ数多くの分類群が複雑な相互作用をもつことになる場、という認識が大切であることは言うまでもあるまい。いま、海域・陸域の生態系そのものが、広大な相互作用の場として伝統的・経験的に意味のある場を構成する、という理解が徐々に広がりつつある（濱田，2002c）ことには否定のしようがなく、その中で“サンゴ礁学”がどう位置づけられるかは、『地球環境科学』としても看過できないポイントであるとしなければなるまい。本稿では、そうした視座をしっかりと保ちながら、社会の一翼を担うものとして、わが国および世界からの情報をも踏まえ、若干の論評を加えつつ生態系科学～環境科学が中心となるべき立場を強調するものである。

第2章 日本でのサンゴ礁古生態の諸問題

i. 中～古生代でのケース（地史上の第一級絶滅事件前後）

日本列島の古生界を代表するものでは、フズリナ類と床板サンゴ類（Tabulata）、四放サンゴ類（Tetracoralla；Rugosa）等を中心に発達した、中・後期古生界が主役を勤める石灰質岩体（carbonates bodies）である、との位置づけが妥当であろう。石灰岩類が、わが国でのほとんど唯一の非金属地下資源であることは、人口に膾炙している。いずれも、かつての低～中緯度環境の海洋条件下を中心にして発達したものであるが、主として火山岩類を基盤とする“火山島”周辺に分布していたか、あるいは沿岸性の浅所（大陸棚上に多島海をなして）に生育したもの（Wolanski, 2001）とされ、その分布はかなり広く（辻，1990），“列島”が占める現在の陸地面積でもそれが証明されている。

大洋中に散在する島々が中心であったことから、これらの石灰岩中には不溶残渣が意外に少なく、例えばイギリスジュラ系の地層を対象にしたポルトランドセメント採掘場のように、原岩に適度の粘土質鉱物の挟在層が発達した大陸棚型石灰岩の場合、それらを直接掘って焼成しさえすれば製品化できるケースとの間に大きな違いがある。わが国のような島嶼型海域では、石灰岩と粘土質岩とは共にかなり固く・変質など続成作用の進んだものをそれぞれ単独に採掘し、適当な割合いでブレンドしなければならないのが殆んどであり、これは世界的に見ても特異な例と言えよう。

四放サンゴ類とフズリナ類とは、言うまでもなく“生礁”構成の主体である前者つまり“枠形成”動物と、その間を埋めて生息した石灰質原生動物との関係にある。もちろん、時にはウミユリ類、貝類、三葉虫類等が重きをなすことも局部的にあったが、メインとなった例はそう多くはない。これらの古生物にはいずれも石灰質分泌の性向が著しいから、当然そこには暖く、しかも浅い海域という生態条件が具わっている。このような事情は、古生代後期に相当する石炭-二畳（ペルム）紀にあっては、日本“列島”周辺に普遍的である。少し前のシルル-デボン紀では、枠形成に床板サンゴ類、四放サンゴ類をはじめ様々の層孔虫類も中心的役割を果たしてきた（Hamada, 1956, 1957a, b, 1958, 1959b, 1961, 1968, 1971, 1973b）。すなわち、“列島”と呼ぶよりは古太平洋中に散在した“火山島群”の姿が、当時の古環境として浮かび上がってくる。それらの周辺により広く分布するチャート（珪岩）や微粒子泥質岩は、いわゆる陸源物質ではなく外洋性堆積物である場合が多かったと推定されるのである。

多少問題になると考えられそうなのは、仮に日本でのケースを中心に古地理学的な観点からプレートの動きをとりあげるとして、シルル紀にあってはとりわけ低緯度での生態系、それも砂礫など陸源物質が極端に少い外洋での強水環境が示唆されることや、同時にその礁構成物のいくつかはオーストラリアの地向斜内で形成されたものと全く良く似たクサリサンゴ類と、それらを包有する不純物の極めて少ない石灰岩が見出される（Hamada, 1961）ことであろう。例えば、四国の横倉山をつくるサンゴ石灰岩には、石材として“土佐桜”のニックネームが与えられるなど、ピンクがかかった色調も全てよく類似している。

このようなことは、ベンとヌルの言う仮想大陸 Pacifica の断片であるとする考え方と非常にマッチングが良く、その後のデボン紀に入ってから環境との格差が著しい。すなわち、デボン紀前期にあっては、沿岸からの大量の粘土質や炭質物が地層をより暗色のものに変える（Hamada, 1961）ことに始まり、後期には、腕足類等の海生生物と同一層中に、非常に層々高さ7～8mに“大木化”したシダ植物（リンボク類）の *Leptophloeum rhombicum* という樹幹化石の断片等が、日本国内、オーストラリア東岸、中国大陸南半部（海南島を含む）等々、実に広範に互って分布することが、近年明らかにされてきているのである。“仮想大陸” Pacifica が、太平洋の形成に向けて、現実として分裂・拡散して行ったことが明白になったと断定してよからう。

このような断定は、陸生生物としてのシダ類の分布を考える上で、“植物区”として単純なパターンに固執しては解決に至らないのであり、同一植物の広域分布にはその植生の分布“実力”をはるかに凌ぐプレートの放散が大きな力を持った結果といえよう (Parrish, 1998)。これは、続く石炭紀 - ペルム紀に入ってから、日本と中国との化石動物群の中に、例えば貴州サンゴ (*Kueichouphyllum*) とか貴州床板サンゴ (*Kueichowpora*) といった中国産化石と良く一致する造礁型サンゴ類が共通して見出されること等とも整合性が高い。ついでながら、石炭紀～ペルム紀の有孔虫に関しても同様のストーリー展開があることもまた、パシフィカ・プレートの環太平洋域への拡散を支えるものとして見逃すことができまい。

古生代が終わって次の中生代に入る頃に、地球規模での大絶滅イベントが印されていることは、万人の認める事実である。ただし、その原因については、なかなかここだという“golden spike”を打ち込み難い層序自体に問題が多く、国際層位学委員会としても大きな課題とされてきた。身近な事例として、わが国での例を挙げるなら、宮崎県でのペルム紀/三畳紀の境界がある。ここではペルム紀最後の石灰岩の上位に、同じく石灰質の含貝類化石層が発見されているのである。この上村セクションについての詳細な古生物層序学的シーケンスには、これでほぼ決着をみたとされる。

古生代末の“大絶滅期”を特徴づけるのは、何といっても古生代海中生物群としての三大分類群、すなわち原生動物のフズリナ類、腔腸動物の四放サンゴ類、そして節足動物の三葉虫類である。これらのうちとりわけ前二者が石灰質堆積物としての機能を失って、三畳紀の前期には石灰藻類や一部の貝類を除き、石灰質礁の形成が全くみられなくなった現実がある。このいわゆる絶滅イベントの原因には、グローバルな気候変動がからんでいることはほぼ確かであり、気温の上昇と共に発生した大量の極冠氷床の融解が進み、結果として海水準の上昇が冷たい淡水によってもたらされたものと解される。それ故に、気候の温暖化と海洋の低温化ならびに酸欠化という“一時的にしろ”大きな環境変化を招来したものであり、礁形成に参画していた四放サンゴ類の礁 (Maeda and Hamada, 1962ほか) とそこを棲み家にしてきた有孔虫類のフズリナを中心とする暖海性の生物グループは、この時点で完全に姿を消すことになったのである。

中生代のごく初頭、すなわち三畳紀の前半には、海中生物環境が大きく変化して淡水キャップの発生と大規模な酸欠状態を惹き起こし、しばらくの間、熱帯地域にあっても本格的な生物礁の形成機能が消失する時間が生じたのである。その結果、サンゴ礁を主体とする“温暖な”生物相が地球上に復活するのは、三畳紀中頃以降となる。そのとき、新しい分類単位として生物礁の基盤を担ったのは、六放サンゴ類 (Hexacoralla) であった。この一群は、爾来現在のサンゴ礁環境まで持続する。つまり、生物礁の主体は六放サンゴ類のうち石サンゴと呼ばれる石灰質骨格が枠組みの役を果たし、急速にその生態系を複雑化させて、現世の海中生物界の多様化に大きく貢献したことになる (濱田,

1991)。

このような傾向は総体的に新生代の現在まで維持されてはいるものの、その途上でいくつかの“イベント”が発生し、その度に海中生態系には若干の変化がもたらされた。その一つとして、古生代に栄えた層孔虫類 (Stromatoporoids) がジュラ紀から白亜紀にかけてアジア東部の海域に広がって、“海綿型類 (Spongiomorpha)”の繁栄を伴い、わが国のいわゆる“鳥ノ巣石灰岩”中に、六放サンゴ類と共に生態上大きな位置を占めるに至ったこと (濱田, 1975) が注目されている。

中生代の造礁生物群の新顔として登場したのが、厚歯二枚貝類であり、このグループは中東地帯の油田の母体を造りあげていると考えられている (Wood, 1999)。わが国でのこうした事例としては今のところ散発的な報告しかないが、例えば北海道の中央山脈中には見事な厚歯二枚貝礁の発達が見られ、現在その精査が進められている (佐野, 2000)。これについては、本土や四国・九州の鳥ノ巣統として一括されることが多いものの、堆積相としては明らかに相違があり、今後の精査が進めば、温帯～亜熱帯タイプの厚歯二枚貝礁が定義されることになる。なお、この相中には、他の構成要素としてアンモナイト類やサンゴ礁を伴うことが比較的少ないという特色もあり、生態論・時代論・環境論を含め、今後の更なる展開が期待される。

ii. 新生代でのケース (K/T境界問題；日本で新発見が続く中新世原地性サンゴ礁)

中生代の終末は、巷では陸上での栄華を誇った恐竜類の“大量・一斉”絶滅と、同じく海中生態系である“被捕食者群”としての有殻頭足類アンモナイトグループの“大量・一斉”絶滅とであったと“喧伝”されている。このK/T境界事件の根本原因に関しては、一応巨大隕石衝突説が流布してはいるものの、決定的な客観証拠が挙げられたわけではない。海中に小惑星サイズの大隕石が落下したとしてその時発生した超巨大津波の第一波の波高は約8,000 mと算定された例もあり、そうだとしたら地表の陸地は全て高津波に出遭い、恐竜はおろか一緒に生活していた爬虫類や哺乳類はもちろんのこと、多種多様な植物を含めて殆どありとあらゆる陸上生物は本当に壊滅してしまわねばならないことになる。

それにもかかわらず、白亜紀半ばから勢いをつけてきた、花を咲かせ実を結ぶ被子植物類の大半が、“hold over”として生き残っているという矛盾は、とても説明し難い。まして、海中生態系にあって圧倒的な多数を誇ってきたアンモナイト類とそれに対して大きな環境圧をつくり出していた魚竜や首長竜、モササウルスの仲間までもが“地上から”姿を消し、他方一般の貝類や造礁サンゴ類を主体とする一大勢力は、若干の組成変更はあったものの、基本的には、“生き残り組”として新生代での海中生態系の主役を果たし続けている、というも驚くべき事実であり、中生代の“代表生物”グループの絶滅という事態をとりあげ、それに対して隕石衝突だけに根拠を置くことは、実際問題として余りにも苦しい説明ではある。ちなみに、中生代に全盛

を誇った空中生物である大型爬虫類の翼竜の仲間までが絶滅の憂き目に会っているなど、説明に窮するのである。

いっぽう、“恐竜絶滅事件”は、地史上の大絶滅期が仮に6~8回認められるとしても、それらの中にあつてその規模は大して大きくなく、むしろ、“hold over”組の属数が急激に上昇していく間の一寸した刻みを付ける程度、と理解することも可能であり、世にしきりに強調される“大量・一斉絶滅”の本当の姿は、ここからはあまり浮上してくることはない、との言い訳さえできるのである。まして、K/T境界には隕石物質由来元素である Ir (イリジウム)の異常濃縮がほぼグローバルに記録されていて、そのことが大量・一斉絶滅とあたかも深い関係がありそうに捉えられることには、もう少し寛容な解釈、例えば大規模な火成活動由来、といった別の原因の可能性にも注意を払う必要がある。現に他の大部分の大絶滅事件には、そうしたイリジウム濃縮異常の例は殆ど知られていないから、それらについてはむしろ異なった立場からの説明が不可欠となる。

そもそも、生物というものは、この世に生存を始めた以上、必ず絶滅を伴うという『本質的な』栄枯盛衰劇をプレイするもの、と認められるならば、この地球上ではいつでも、どこでも絶滅が起こってきたことや、その度に全体としての生物種がトータルに見て急速に増えて来ているという多様性の増大こそが確定的なのである。たまたま、いくつかの絶滅が同期したとすれば、それを称して“大絶滅期”と言っても、何らかの根源的説明を要することは言うまでもない。世の中には、恐竜に関係なく様々な生き物に関して“絶滅論”が唱えられているが、『提唱者の数と同じくらの説』があるというジョークまで出る程であり、何がどうしてどうなったという、個別の因果関係には検証の実態を欠いているのが現段階であると考えてよい。そうした中であつて、言葉自体に自己矛盾を胎んでいるという指摘はあつたとしても、『過適応: over adaptation』なる“新術語”の提唱 (Hamada, 1991) は傾聴に値しよう。

さて、視点を日本列島での造礁生物関係に絞ってみる。その前に、グローバルスケールで眺めてみると、ヨーロッパ、中国大陸をはじめとするアジア地区、中南米等での生物礁に関してかなりの数の文献 (Fedorowski, 1987; 廖衛華・夏金宝, 1994; Vaughan, 1900ほか) がある新生代前半に比して、日本国内でのその種の関連事項は大変に乏しく、むしろ寒冷化の進むなか、漸新世あたりを中心とする石炭層が各所に発達していることが目立つ。本格的な礁形成が進む状況については、最近著しく速いテンポで成果が報告され始めている第三紀中新世サンゴ礁の果たした役割が、多くを語ってくれている。

新生代第三紀中新世は、日本の新生界にとっては異例と言っても過言でないほど、古環境 (古気候・古海流) に“恵まれた”時代であつた。そのきっかけは、始新世の底生大型有孔虫 (*Nummulites*) を多産する小笠原諸島での発見にあるが、その後の中新世でも再び浮遊性有孔虫による古海水温推定が中心となつたいきさつがある。ただし、この時代は底生有孔虫もやや小型化して *Miogyopsina* タイプの有孔虫砂を構成するものが圧倒的に多く、その記載や分布に大きな関心が払われてきた。

1975年に、東海大学附属相模高等学校の門田真人が丹沢山塊のやや峻しい谷あいでは石灰岩中に、立派で、しかも典型的な造礁性サンゴ群集を見つけた (青木, 2003; 門田, 2002) ことによって、この第三紀中新世には実は完全なサンゴ礁が、大洋中に点在する火山島上に発達していることが判明したのである。各岩体は小規模ではありながら外来要素の陸源堆積物をほとんど含まない状態で存在することが、同校山岳部に属する学生さんや親しい教師達の手で着々と世に公けにされていったのは記憶に新しい。第1図にはその辺りの事情を up to date に図示してあり、伊豆半島を含む、いわゆるフィリピン海プレート上での“思いがけない”発見と展開につながった。それは、従前の有孔虫研究者が殆ど皆、*Miogyopsina-Operculina* 群集を単調に有孔虫石灰岩だと思ひ込み、その化石と一緒に大量に存在した造礁サンゴ類そのものに全く気付かなかつたか、さもなければ殆ど無関心のまま打ち過ごしてきた、というほとんど信じられない“プレパラートでの鏡検”型研究に明け暮れていたから、と推測されるのである。

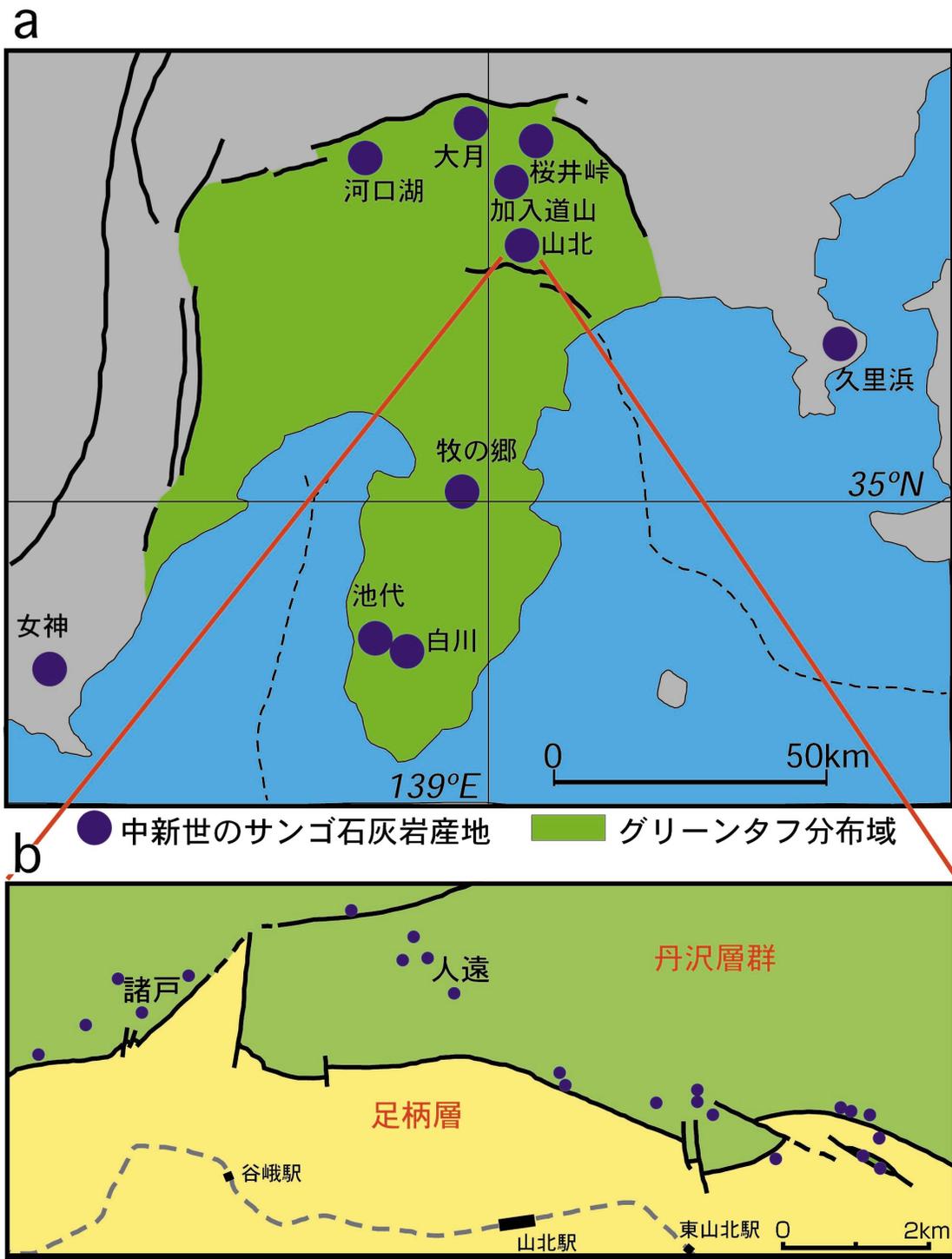
第1図a, bは、その間のいきさつを門田氏が個人出版として世に問うた最近の成果からの引用であり、青丸で含サンゴ石灰岩を示したものである。詳細は割愛せざるを得なかつたが、よく調べてみると、これまでに宮崎県、岐阜県、静岡県、神奈川県、埼玉県等々で散発的に記載や報告があるものの、誰一人として本格的な研究に手をつけようとは思いつかなかつた事情が存在したようである。

後述するように、造礁性群集サンゴ類には、水勢環境に対応して見かけが大きく異なっている“生態的群集”が所々に認められ、基盤岩上に這うように広がる造礁性群集ほど強水環境を示すと同時に、それに頻りに伴われるオウムガイ類の分布までが見事に明らかにされたのである。これは思いがけなく顕著かつ立派な業績であり、今後いま一步の分類学的な見地と同時に、古生態学的立場からの整理と解析が、切に求められている。

iii. 第四紀でのケース (隆起サンゴ礁での話題)

世界の熱帯~亜熱帯各沿岸地域には、新生代第四紀以降の約180万年間に氷期・間氷期の繰り返し時期があり、それぞれに対応して形成された礁性石灰岩からなる多段の段丘が認められる。かつてはこれらの段丘群の高度差による新旧や、年代測定を併用した数値年代が主として語られてきた (例: 米倉 (編著), 2000)。しかし、その古生態学的意義や古環境、古気候変動等については、そもそも浅海海底地形の変化が著しく (目崎, 1991)、現在の礁環境の詳しい解析が不十分であり参考にならないことや、地域的な地殻変動が加わったり、礁性石灰岩そのものの生層序中になかなか頻度高く“非整合” (形態上はもちろん、様々な侵食・溶蝕期を介在させる時間間隙と物質欠如によるもの) が存在するからだとされる。

もちろん、ここで言う“非整合”現象には、『ダイアステム: diastem』と称される時間間隙も多く認められる (琉球石灰岩が好例) のであるが、その殆どが多分時間にして数百年~数千年程度の“些細”な時間間隙であること



第1図. a,b フィリピン海プレート上に発見された石サンゴ中心の礫性石灰岩産地. (門田,2002を改変)

もあって、大局的には、一般に認められるように“有意ではない”粒子レベルでの“非整合～不整合”と、数十万年～数百万年間の地殻変動を伴うそれらとは、かなり明確に判別できるとするのである。

いっぽう、隆起生礁の古生態学に関しては、隆起後に様々な場所・環境・岩質・侵食力等の内力・外力が作用するであろうから、本来の“礁”自体あるいはその構造を十分に残し得るかどうか、という問題がついてまわろう。時には、むしろいろいろの程度の他所性・異地性堆積物（化石等ももちろん含まれる）が参画し、フレームづくりの礁生態を一層判りにくくしてしまう、という事情を無視はできまい（目崎，1991）。

サンゴ礁域は非常に屢々“台風並み”の強風や高波にさらされるであろうから、礁構造そのものの損壊も著くなる。つまり、ほぼ瞬時にして“部分的”に“不整合的”形態をとるに至る事態がむしろ頻繁に起こり、環境情報の擾乱・撈伴も大きくなることが十分に予想されるのである。多くのボーリングコアに頼ること自体が、そうした局所的・一時的破損の程度を明らかにするほとんど唯一の手段となるに違いないので、生礁の原構造をあますことなく探り出そうとする努力などは、現在のサンゴ礁地形を見てもはつきりしているように、なかなか現実味を持ち得ないという推定すら成り立とう。

一般に、生礁関係の環境は地形的・生態的に極めて多様性が大きく、チャンネルやモート、礁外縁等々、それぞれの環境特性的な堆積物（枠組形成をも含めて）が発達することになる。礁外縁での礫質部（礁角礫：reef breccia）では、そうした外力の影響を受け原傾斜をもっていたり、サンゴ群体の天と地が転動したりするのがむしろ“日常的”であることは、多くの事例や理由から結論的に説明されることとなっている（例：辻，1990）。

考えられる限り、現生の生礁環境の要素を隆起生礁データと付き合わせてみると、それには第1表のような諸要件をとり上げるのが大事であることがわかる。言うまでもなく、生礁の枠構成物にしても、そこには海綿類、貝類、苔虫類、多毛類、甲殻類、棘皮類、藻類をはじめ様々の動植物が関与し、ポラー（穿孔生物）やかなりの“礁”や“礁”に特徴的なサンゴ食性（corallivorous）の魚類やウニ・ヒトデなど刺皮動物による著しい生侵食作用もまたおろそかにできまい（Wood，1999）。このことは、中生代における古生態についても、全く同様なのである（例：Boucot，1981）。

なお、一般論ではあるが、若い時代の隆起生礁については、かなりの“変動帯”領域にあって、隆起サンゴ礁そのものの断面や“底面側”が実視観察できる例が少ない（江口・森，1973；濱田，1963b；Veron，1992b）。日本列島関連としては前出の“沼サンゴ層”でのケースがその典型であり、少し古くなるが南西諸島に広く分布している“琉球石灰岩”の多くは、また別の事例代表でもある。さらに南への延長上に位置する台湾の北東岸の花蓮付近では、著しく隆起した含角礫の造礁型サンゴ類から成る礁性～外縁性堆積物が急崖を形成していて、そこからの転塊を海浜で詳細に観察することが可能である。

第1表. サンゴ礁環境の要素抽出の一例

		環 境 例	環境要素 (項目事例)
サンゴ礁環境	海洋条件	海 洋 環 境	暖流系, ウェストドリフト, 深層湧昇水
		海 水 環 境	沿岸水, 安定水, 外気温
		海 岸 環 境	渚, 着生基盤, マングローブ湿地
		島 嶼 環 境	礁形態, 大洋島, 海水準変動
	生態条件	地 理 的 環 境	サンゴ礁分布, 基盤条件, 流入河川
		緯 度 環 境	最適条件, 造礁サンゴの限界, 礁形成限界
		共 生 物 環 境	摂餌行動, 放卵・拡散, 光合成
		生 態 学 的 環 境	礁構造, 礁構成生物, 種の多様性, 動生態
	生存条件	水のエネルギー環境	風向き, 波浪, 礁湖構造
		栄 養 環 境	捕食法, プランクトン, 排泄物
		日 照 環 境	水深, シェルター構造, 季節
		水 質 環 境	塩分, 淡水流入, 汚濁物質
人関与条件	ヒトのアクセス環境	観光資源, レジャー施設, 座礁・難破	
	漁 業 環 境	子育ての場, 魚種の多様性, 特化した漁法	
	ダイビング環境	マリンスポーツ, 接触破損, 伝統漁法	
	汚 濁 環 境	陸上開発, 森林伐採, 流出油汚染	

第3章 日本を視点においたサンゴ礁生態学

i. ベロンの業績 から パラオ熱帯生物研究所とその後 まで

ベロンによる3部作は、サンゴ礁研究ムーブの一種独特の高場を示すには十分であった（Veron，2000）。たしかに課題とりわけ分類種群についてなどは少くないが、グローバルな視野のもと、分布図を伴いながらの大モノグラフとしたことがもつ意義は軽視できまい。海中での熱帯環境での多様性の“原点”とも言える石サンゴ類に焦点を当てたことは、これまでほとんど独りで進めてきた研究にかなりの程度の限界を感じていた多くの研究者達にとっては、ある意味での大英断であったと評価もされよう。

ただ、全く問題がないというわけでもないし、むしろ多くの課題を残すことになったことも間違いなく、今後必ず引用される大作と捉えられるであろうことは疑いない。例えば、“リーフ”の礁構成主体の一つである Acroporidae について見るに（Wallace and Aw，2000）、同じくオーストラリアのグレートバリア・リーフでの調査に当たった日本人研究者の言を借りれば、分類の基準をどうとて良いのか、余りの多様な形態変化と環境変化とに圧倒されるという（江口元起の口述による）。結局、ローカリズムとスプリッター（splitter：細分論者）とが結びついて多くの“新名”（=？新種）が提唱される一方、他地域との形

態の同一性を環境の同一性と認めることをはじめとする、グローバル視点でのランパー (lumper: 統合論者) を生む結果に至った、という感じを拭いきれないのである (Brockman, 2001; Wallace and Aw, 2000)。

さて、そうした環境状況下でのベロンの日本滞在は限定され、実際の潜水観察にどのくらい貢献し得たかについては一抹の不安があって、にわかには判じ難い。日本列島の一つの大きな特色と言える造礁サンゴ類の北限分布境界の特定 (濱田, 1975; Hamada, 1976) は、残念なことに未だ世界的には認証されていないし、反対の南半球側でのグレート・バリアリーフに関しても (Wolanski, 2001)、同じく“陸続き”に形成された“特殊性”が軽視されてきていることについて、ベロンサイドからの貢献度はかなり低いとされる。少なくとも何らかの勾配 (グラディエント) は、示されるべきではなかっただろうか。

造礁性の強い石サンゴ類 (Scleractinia) を中心に考えるならば、これまでの膨大な研究成果の蓄積として、大洋中や島嶼周辺に発達がよく見られる環境や裾礁を想起するのは、ある意味で順当であろう (小西 (編), 1975; 氏家・矢田, 1987)。しかしながら、石サンゴ類の分布パターンという属や種の多様性を正確に捉えるには、造礁生物のみならずそれをとり巻く微細環境から大環境に至るまでのより詳細な解析を伴うことが、本当の意味での多様性~相互作用系の理解を助ける大きな力となることだけは間違いなし (Gustavson et al., 2000)。

今や、自然生態系では相互作用系のダイナミクスをあらゆる形で解析し、正当なエコシステム理解につなぐことが肝要である。このような複雑系としての生態系は、気候はもとより本質的には海流系 (海水系と呼ぶべきではあろうが) など海象にも強く支配されていることは言うまでもない (国家海洋局科学技術司 (編), 2000; 鈴木・川幡, 2002; Van der Loos, 2001)。そこでの環境要素としては、生物同士の相互作用、化学的・物理的諸要因、地理的環境等々非常に錯綜したシステムが成り立っていて、一筋縄ではいかない点は理解しなければなるまい (Gustavson et al., 2000)。

こうした環境研究には多大の労力・費用・施設などを要することは論をまたないが、世界的に不況が続く、いわゆるグルンド研究に力を入れる科学的な姿勢が大きく欠落しているいま無念という他ない。結果として海のもつ生産性を著しく低下させ、人類に対しても決して無視できない事態を惹き起こすようになることすら懸念されている (例: 大森, 2003)。

さて、第二次世界大戦終了までわが国が信託統治 (委任統治) していたパラオ諸島には、日本人研究者の集う絶好の拠点として熱帯生物研究所が置かれ、専門の報告書を刊行するなど活動範囲には見るべきものがあつた。海洋関係について記せば、結果として東北帝国大学理学部紀要 (大型版) が次々に刊行され、相俟って中国から馬廷英の大作 (Ma, 1937) が日本での莫大な試料を背景に出版されるなど、まさにアジアの現世サンゴ類やそれに関連する幅広い研究成果が公開されるに至ったのである。第2表に、それらに関わった日本人派遣研究者らによる代表的な業績を掲げておこう (大森, 2002)。ちなみに、当時採集された多

数の造礁サンゴ類標本は、埃にまみれて“黒化”した損壊が著しいものの、現東北大学に部分的に保管されている。

このような背景のもとに、戦後50年余の空白期を経て、平成12年 (2000年) 頃からJICA (海外協力事業団) 主導のもと、現地の政府との密な連絡を得ながら、水族飼育施設を伴う研究設備 (パラオ国際珊瑚礁センター: 略称PICRC) が発足し、2003年にはその設備等の整備が進みつつあって、現地からの協力者の数も増加していることを聞くのは評価に値する。

パラオ諸島は、かなり大きな複合礁で、その基盤岩には第三系と思われる火山岩等もあり、近海のパラオ海溝の存在の影響も受けて、地震等も時々発生した歴史が残されている。外側を環礁に囲まれた広い水域中に海棲のワニが住みつき、陸水の流入がある大きな島周辺にはマングローブ群落の発達が見られるなど、環境も複雑である。島には淡水性の池もあり、クレーター型地形に支配され、常識から外れて天を突くように“真直ぐ伸びる自然生態型”のマングローブ樹林が独特の景観を保ち、水中には無数の淡水クラゲ類が浮遊している。パラオ松島の異名を持つ多島海 (Folch and Camarasa, 2000ほか)、透き通るような乳白~コバルトブルーの海もまたかけがえなく美しく、世界自然遺産の重要候補地として大きな注目を浴びている。礁外縁深海に生息する大型のオウムガイに、近年パラオオウムガイ (*Nautilus belauensis*) の種名が与えられ、日本にも研究のため持ち込まれた例もあって、今後の生態学的調査も大いに期待される場所である。ちなみに、この種名はパラオ古来の名称ベラウ (Belau) に由来するとされる。

水産資源として数も多いシャコガイの仲間が養殖され始めている他には、地元でこれというほど目立った産業はない。しかし、多種多様の動植物、とりわけサンゴ類・貝類・ウニ・ヒトデ類あるいは荒地や崖に生息するウツボカズラの仲間には、自然界の豊かさを感じさせられる。全体として浅いチャンネルや入江が多く、散在する隆起石灰岩の島々には見事な海食崖が発達し、ノッチの形成が美しい。その結果、近在のグアム島が軍港化し、環境汚染が進んだことと著しい対照をなす存在として見直され始める気運があり、パラオ諸島一帯の観光立地が急がれることは間違いない。

2004年には、わが国の沖縄において日本初の国際サンゴ礁学シンポジウム (第10回) [ICRS 2004] が開かれることになっている。1992年にグアムを中心に開かれた第7回国際会議でも結構な賑わいがあつたが、今回のイベントには、“日本で”是非というかけ声もあり、大勢の方々 (研究者+一般観光客) の期待もあるやに聞く。沖縄の国際学会の関連行事として、このパラオでの自然環境とJICA施設訪問が注目されているのにも一理はある。JICAの施設を中心に日本人研究者の出入りも頻繁となりつつあって、サンゴ礁にかかわる石灰化 CO₂の固定化問題や窒素態の諸課題もとり上げられているのは大変に心強い。

なお、沖縄プロパーやその周辺には、日本の大学や民間を始めとするいわゆる“熱帯域研究所”関連の施設が複数個所に開かれていて、すでに着々と成果をあげつつあることは喜ばしい。ただ、経済的にもマンパワーからみても、まだまだ不十分の感はまだぬがれない。国際会議等を大事な

第2表. パラオ熱帯生物研究所派遣研究員 (1934/6~1943/3) と研究題目リスト (大森2003に基づく)

氏 名	所属機関 (当時)	研 究 題 目	派 遣 期 間
阿部 襄	東北帝大	岩山湾基礎調査, 造礁サンゴの場所による変異, 造礁サンゴ虫の摂食習性	1934/ 6~1935/ 5 1935/ 7~1935/12
阿部宗明	東京帝大	熱帯魚類特にマフグ科及びヌメリゴチ科の分類	1936/10~1937/ 4
阿刀田研二	東北帝大	造礁サンゴ虫の刺激と再生	1938/ 3~1942/ 1
江口元起	東北帝大	岩山湾の基礎調査, 造礁サンゴ虫の分類	1934/ 5~1934/ 8 1935/ 3~1935/ 6
榎 並 仁	東北帝大	海産動物色素細胞の変化に及ぼすホルモンの作用	1940/ 7~1941/ 9
羽根田弥太	慈恵医大	発光生物	1937/ 5~1938/ 7 1939/12~1940/ 3 1940/ 8 1942/ 3~1942/ 8
林 一 正	京都帝大	造礁サンゴ虫造骨組織内石灰分検出 クサビライシ幼生の発生特に骨格形成の組織学的研究	1935/ 5~1935/11
林 良 二	北海道帝大	海星類の分類	1936/ 2~1936/ 8
加藤源治		温帯産淡水魚の熱帯への移植	1939/ 4~1943/ 3
川口四郎	台北帝大	造礁サンゴ虫の色素及び生殖	1936/ 6~1936/10 1939/10~1940/ 3
川上 泉	京都帝大	造礁サンゴ虫の無性生殖	1937/ 7~1938/ 3
神田千代一	北海道帝大	熱帯産海藻の発生	1938/10~1939/ 3
熊野正雄	東京文理大	軟サンゴ類の分類	1942/10~1943/ 1
松井喜三	東京文理大	鯉鮪類の脳含水量	1941/ 9~1942/ 1
松谷善三	東北帝大	岩山湾海水の水理	1934/12~1935/ 5
三宅貞祥	九州帝大	珊瑚礁に生息する甲殻類十脚目の生態及び分布	1939/ 3~1939/ 8
元田 茂	北海道帝大	造礁サンゴ虫の生存環境, プランクトンの季節的消長	1935/ 6~1937/ 6 1938/ 9~1938/11
村上子郎	九州帝大	蛇尾類の分類	1937/12~1938/ 6
尾形藤治	東京文理大	熱帯海産物の寄生虫	1941/ 6~1941/ 9
大平辰秋	(現地委嘱)	岩山湾の地学的調査	1942/ 4~1943/ 3
大島正満		鯉鮪類の産卵地	1941/ 3~1941/ 4
島津久健	東北帝大	造礁サンゴ虫の生殖及び発育	1937/ 5~1935/ 4
高橋敬三	東京文理大	珊瑚礁の造成破壊に及ぼす多毛環虫類の影響	1936/ 2~1936/ 8 1940/12~1941/ 3
高橋定衛		多毛環虫類の分類	1935/12~1936/ 2
時岡 隆	京都帝大	プランクトンの定性, ホヤ類の分類	1940/ 4~1941/ 1
内海(弘)富士夫	京都帝大	岩山湾基礎調査, 造礁サンゴと共生する動物, 蔓脚類の分類	1934/ 6~1935/ 2
和田連二	(現地委嘱)	白蝶貝	1940/10~1941/ 9
和田清治	東京帝大	有用貝類	1938/ 4~1939/ 3 1939/12~1940/ 7
山内年彦	京都帝大	造礁サンゴ虫とナマコ類の生態的關係	1937/ 1~1937/ 7 1940/ 7~1940/ 8

外圧と捉えて、国内にも日本サンゴ礁学会が立ち上げられ活動を開始してはいるものの、後出のようにサンゴ礁関連事項が抱える本来の複雑性もあり、テーマや素材が多過ぎることに加え、戦後の日本では国民感情が海から遠ざかってしまっており、海国日本のイメージをこれから作り上げるにはなお多くの課題が残されていて、より大きな時間と経費を必要とすることは間違いない。

ii. サンゴ礁を代表とする“生物礁”生態の複雑性

1990年に刊行された「Ecosystems of the World」は、オーストラリアの Goodall, W. 主編になる全29巻の、“総合的”かつ“集約的”な陸上・海中（水中）生態系をとり上げた、非常に意欲的な論集である。第25巻目には、「Coral Reefs」と銘打つ1冊の本（550頁）が当てられ、イスラエルの Bar Ilan 大学生命科学部の Dubinsky, Z. が編集者の名にあげられている。そのコンテンツには、以下に引用する通り19章にわたって広く論が展開されていて、言うまでもなくその筋のエキスパートの論説集（Dubinsky, 1990；Goodall and Dubinsky, 1990）である。これらは、生態学・環境学の近代化に先弁をつけた著作であり、サンゴ類とサンゴ礁についての基本的問題を、生理学・生化学は言うに及ばず広域かつ多岐に亘って論じた力作揃いであるとしてよい。石サンゴ類を中心とする礁構成生物（reef-builders）全般にわたる論説・紹介が述べられるとともに、サンゴ類にとって“大敵”と慣習的に位置づけられるオニヒトデや人為による生態擾乱をもとりあげ、マネジメント学にも言及している。原意を損ねないことを希いつつ、各章の論題・著者名を列挙しておこう。

Dubinsky, Z. (1990) 「Coral Reefs」コンテンツ

Chapter 1. EVOLUTION AND ZOOGEOGRAPHY OF CORAL REEFS	1
Y. Achituv and Z. Dubinsky	
Chapter 2. THE PHYSICAL OCEANOGRAPHY OF CORAL-REEF SYSTEMS	11
J. C. Andrews and G. L. Pickard	
Chapter 3. BIOGEOCHEMICAL NUTRIENT CYCLES IN CORAL-REEF ECOSYSTEMS	49
C. F. D'Elia and W. J. Wiebe	
Chapter 4. THE ROLE OF SYMBIOTIC ALGAE IN CARBON AND ENERGY FLUX IN REEF CORALS	75
L. Muscatine	
Chapter 5. IRRADIANCE AND CORALS	89
P. G. Falkowski, P. L. Jokiel and R. A. Kinzie	
Chapter 6. CALCIFICATION AND PHOTOSYNTHESIS IN REEF-BUILDING CORALS AND ALGAE	109
D. J. Barnes and B. E. Chalker	
Chapter 7. REPRODUCTION, DISPERSAL AND RECRUITMENT OF SCLERACTINIAN CORALS	133
P. L. Harrison and C. C. Wallace	
Chapter 8. COMPETITION BETWEEN SCLERACTINIAN REEF CORALS: A REVIEW OF MECHANISMS AND EFFECTS	

J. C. Lang and E. A. Chornesky	209
Chapter 9. CORAL-REEF ALGAE	
T. Berner	253
Chapter 10. THE BIOMASS, PRODUCTION AND FATE OF BACTERIA IN CORAL REEFS	
H. W. Ducklow	265
Chapter 11. PLANKTON IN THE REEF ECOSYSTEMS	
Yu. I. Sorokin	291
Chapter 12. ZOOGEOGRAPHY, BEHAVIOR AND ECOLOGY OF CORAL-REEF FISHES	
W. Linn Montgomery	329
Chapter 13. FEEDING ECOLOGY OF SELECTED CORAL-REEF MACROCONSUMERS: PATTERNS AND EFFECTS ON CORAL COMMUNITY STRUCTURE	
P. W. Glynn	365
Chapter 14. ASPECTS OF TROPHIC RELATIONS, PRODUCTIVITY AND ENERGY BALANCE IN CORAL-REEF ECOSYSTEMS	
Yu. I. Sorokin	401
Chapter 15. ON THE IMPORTANCE OF FOOD SOURCES IN CORAL-REEF ECOSYSTEMS	
J. Erez	411
Chapter 16. ACANTHASTER PLANCI POPULATION OUTBREAKS	
R. Edean and A. M. Cameron	419
Chapter 17. NATURAL AND ANTHROPOGENIC DISTURBANCE ON CORAL REEFS	
R. W. Grigg and S. J. Dollar	439
Chapter 18. CORAL-REEF MANAGEMENT	
W. Craik, R. Kenchington and G. Kelleher	453
Chapter 19. TRENDS AND NEW PERSPECTIVES IN CORAL-REEF ECOLOGY	
R. Edean and A. M. Cameron	469

このような発想とアイテムのとり上げ方は、現時点あるいはその後における更なる研究面での広がりをもたらすと共に、関連分野・周辺分野について地球環境科学からの解決の糸口として、超領域科学の立場で第3表に示すような成果を可能にした。これらの分野分布や項目分布は、言うまでもなく立体構成（3D）の提供とそれへの意味付けを伴う。つまり、旧来の切り口とは全く異なっていて、自然界・人為界を総合的に一望するうえで、極めてユニークな発想であることは間違いない。まさに、パリアフリー ユニバーサルな立場をめざす知の集合形態といえよう。その基礎的な資料として、魚類相を中心にした、あるいは生物礁にかかわる種々の無脊椎動物相についての図鑑的存在は、生態系の理解にかなり大きく役立つ（Allen, 2000；Aw, 1994；陳清潮（主編），1997，2002；福建魚類志委員会（編），1985；海洋水産資源開発センター（編），1977；Kuiter, 2000，2002；益田，1996；益田ほか，1978；大森，2003；Randall, et al., 1997；Schultz, 1953；Tackett and Tackett, 2002；Wood and Aw, 2002）。

第3表. サンゴ礁学

領域別	象限	研究分野 (内球)	対象事項 (外球)
礁形成	I	(古)気候学 地形学 地理学 地質学	礁地形 海岸段丘 海食崖 海図 ノッチ 海中洞窟 礁堆積物 隆起サンゴ礁
礁環境		環境学 植生学 海岸工学 潮汐学	礁湖環境 礁縁環境 マングローブ環境 水勢 風波 土砂流入 潮汐
礁化学		生理学 代謝化学 生鋳物学 水質学	光合成 N態の挙動 C固定 炭酸塩骨格形成 深層水上昇
礁生態		生物海洋学 動態学 分布学 病理学	熱帯生物 環境指標 白化現象 海草域 ジュゴン生息環境 食害・生侵食 バクテリア繁殖 海洋汚染
礁生物	V	生物分類学 生物形態学 保全生物学 遺伝子学	造礁生物 環境形態 礁利用生物 汽水環境 周辺陸上植生 環境保全
礁変動		地史学 プレートテクトニクス タフオノミー 放射化学	海水準変動 海丘・海山 炭酸塩岩体 油槽形成 気象・海象変動 ジオベタル
礁利用		港湾学 海洋法 航法 養殖学	港湾掘削 海浜構造物 養殖施設 水中観光船 造礁計画 ダイビングスポット
礁とヒト		水産学 民俗学 アクア・スポーツ科学 健康科学	水産資源 伝統漁法 魚食慣習 伝統行事 マリンスポーツ ビーチコーミング リクリエーション マリンセラピー

iii. 造礁サンゴ類分布限界を決める諸要因

まずはサンゴ礁を例にとることによって、第四紀以降の氷期・間氷期における生物分布の動態を辿ってみよう。現代にあってはしきりに地球温暖化が唱えられるが、これが人為の影響を強く蒙ったCO₂やCH₄、フロン系ガスなどをはじめとする温室効果ガスのせいであることには、も早疑う余地はない(濱田, 2002d)。ただ、少し不確定な要素が絡むのは、地球自然(人為を除けたとして)が、今どのような気候を本来持っているかに関して、なかなか自信を持

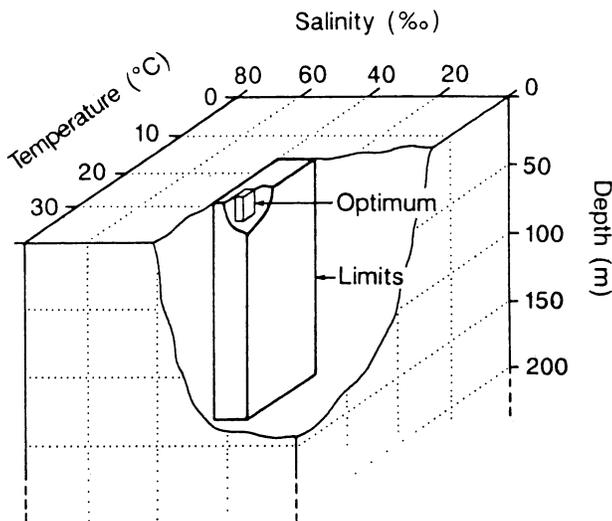
ち得ないでいるからに他ならない。

逆に言うなら、例えばエルニーニョ現象に代表されるような昨今の人為による平均気温上昇は、明らかに急テンポの環境危機に対応しているからである(鈴木・川幡, 2002; Wright and Nebel, 2002)。例えば、この数年間の実質記録によれば、サンゴ礁の“サンゴ白化現象”がグローバルスケールで生起して(例: Baker, 2001; Fujioka, 2002; Kayanne et al., 2002; 茅根・宮城, 2002; 日本海洋学会, 2001)、一部分には若干の回復傾向があるやに伝えられてはいるものの、白化がサンゴ個虫の精力を著しく弱体化して軟体部での単細胞褐藻類(Zooxanthella)の欠如を加速させ、遂にはその群体の枯死さえ招きかねないと憂慮する声も少なくない。

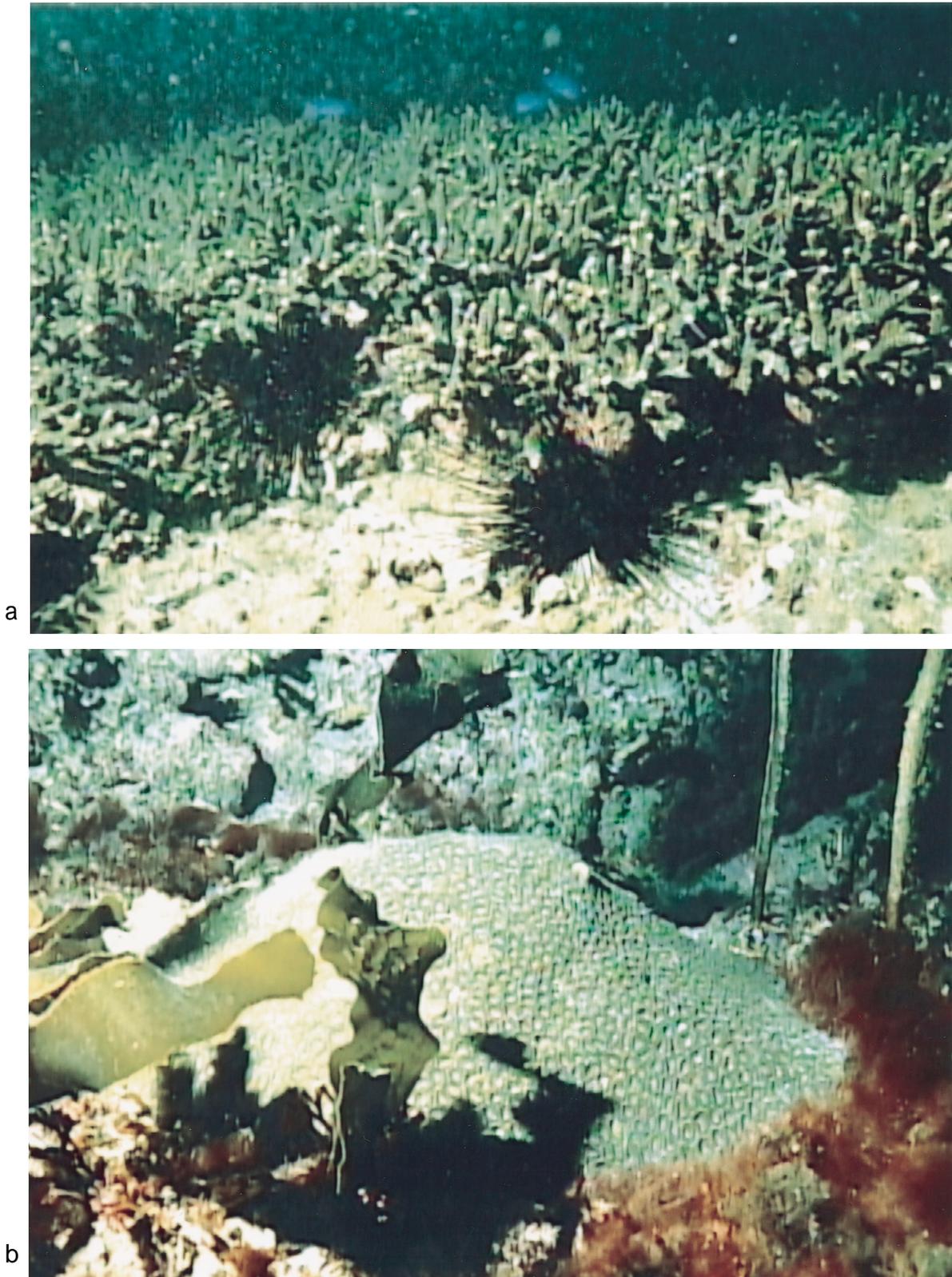
なお、蛇足であろうが、白化現象と呼ばれるのはかなりの広面積にわたって“症状”が進行している場合であり、ふつうオニヒトデや魚類による部分的食害や、若干の巻貝の寄生が原因の“侵略”現象には対応していない。

さて、地史的な温暖化・寒冷化に話を進めることにしよう。ふつうの時間経過ではヒトの実感を伴うような例はなく、統計的にも100年をこえるようなかなり長い期間のデータをとらねばならず、明らかに地球自然環境変化のテンポは“極めて”おそい。温暖化にあっては、それが間氷期という環境時代区分によって代表される総体的・相対的な気温環境や、それからの“若干の”ズレを伴う海(水)面変動をもたらす。海は水の存在故に熱量が大きいから、それに影響が及ぶにはかなり著しい温度差の発現が必要であることは言うまでもない。

サンゴ礁域の目立った拡大は、そうした継続的～断続的な気温の温暖化により、海水温がゆるやかに上昇し、海水面上昇、ひいてはサンゴ礁構造の強化・拡大を招来する。

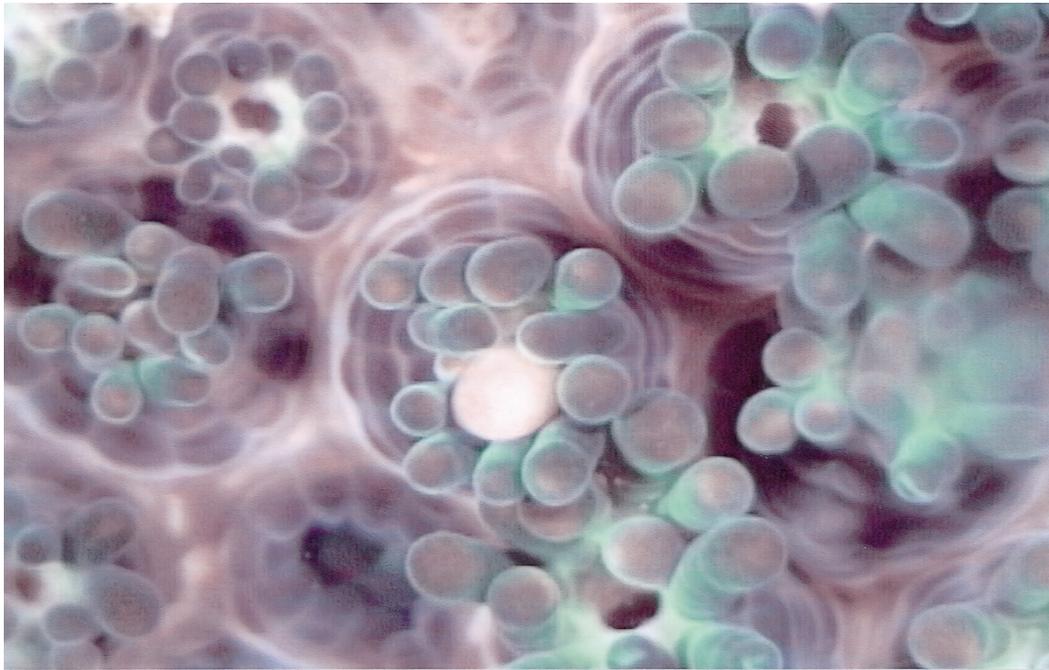


第2図. 造礁サンゴ類分布限界の立体的表現 (詳細は濱田, 1973 ほか参照)



第3図. a. 東京湾（外湾）における造礁サンゴ大群落（*Acropora* sp.）エダミドリイシ（8×10 m）. 水深約8 m； b. 東京湾（外湾）におけるキクメイシ類の群体（*Favia* sp.）水深約8 m（1994 尾崎撮影ビデオより）

a



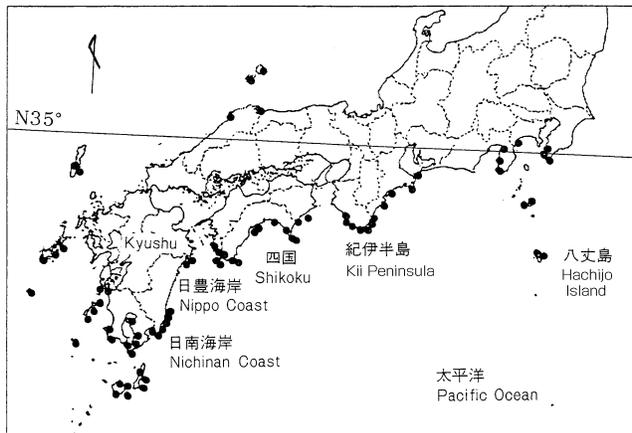
b



c



第4図. a, b, c. 伊豆半島下田湾産アワサンゴ (*Alveopora*) の受精卵放出 (1991 土屋撮影ビデオより)



第5図. サング礁非形成海域のサング礁群集分布
(環境庁 1997 第3巻, サング礁, (財) 海中公園センターを改変)

“良い環境” というのはもちろん“海水での変化にとって”のことであり、生物礁の拡大やその中で多様性の増大をもたらす。そして知られている限りでは、第四紀～現世の間に60～70属程度の石サング類が識別され、今までのところこの値がほぼ上限と見做されている(第2図)(Doyle, et al., 1994; Cox and Moore, 2000; Goudie, 2001; Hamada, 2002b; 中森, 2002)。

一方、対極的な傾向としての平均気温の低下～寒冷化、そして平均海水準の低下という温度変化とそれがもたらす地球環境には、やはりある程度の時間がかかると共に、一定の温暖化とは逆順序の関係にあることも確かである。ぶつう石サング類群体の示す被度(coverage)がかなり高く、互いに覆いかぶさるような場合を生態上“真の生礁”と見ることに問題はあるまい。寒冷化が進んだり、南北両半球のより高緯度での礁形成が弱体化するのは、その真の生礁状態から次第に多様性が下がっていくことに相当する。

このようなケースが出現すると、あちこちで造礁性構造をなす石サング類(hermatypic corals)からなる生物礁から、単なる“造礁サング群落”へと変貌を遂げることになる。このことは、同一環境下においてすら地域性が強調されることに等しい。言いかえれば、時間的変動経過と空間的変動経緯とは同時に成り立つものであり、偏に温暖化や寒冷化の他地域環境に影響される“石サング類の属性”にかかることにもなる(Woesik, 1995)。

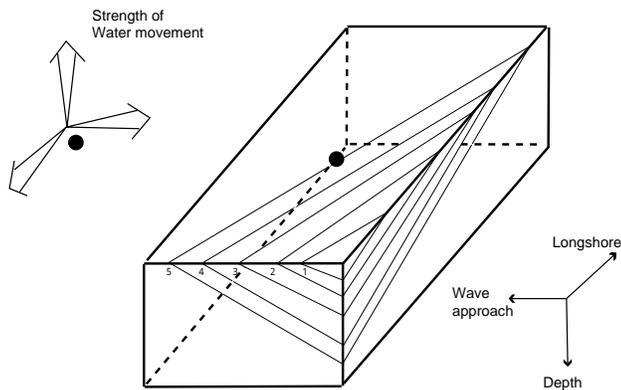
日本列島中部の関東・東海地区で、“沼サング層”がかなり広く発達し、その間に水質・水温・水深・水勢・濁度・堆積作用等々が、それぞれ密接に関りながら(濱田, 1963a, b, 1976; 辻ほか, 1976) 第四紀最後期である“climatic optimum”に参画することになる。現在見られる東京湾(江口・森, 1973)や香港周辺(Chan, 2002)でも、中緯度に特徴的なむしろ寒冷水域型の緑藻・褐藻群落と石サング群体との共存のような、どちらの要素にとっても“典型的”とは決して言えない環境が出現している。なお、堆積物中の砂や泥の中には底性や浮遊性の有孔虫類も多数見出

されており、時間差や生態的環境差の詳細には微妙な食い違いを示すことになるのは自明である(第3図, 第4図)。

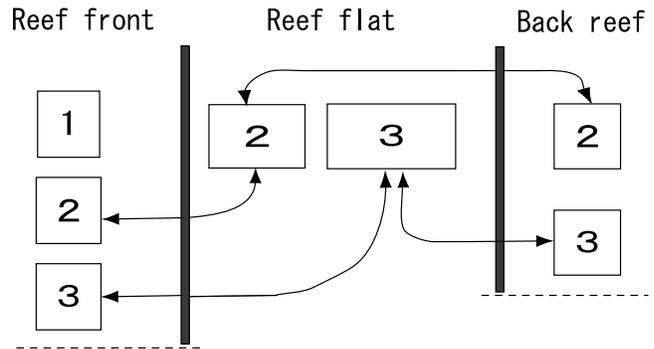
具体的な事例として、若干の産地を紹介しておこう。日本列島の南半では、南西諸島に明瞭なサング礁の発達が見られる(例: 氏家・矢田, 1987)。もちろん、サング礁発達あるいは同じ緯度関係があったとして、海底地形としての“礁”を必ずしも形づくるわけではない。半化石環境(10,000～6,000yBP)(濱田, 1963b; 江口・森, 1973)と同じ程度の造礁性サング群落の発達、つまり種の多様性と被度ないしはかなりの水深(7～8 m～30 m)での生育等は良く調査されている(Veron, 1985, 1992a, b)。第5図はそうした事情を詳しく調べた造礁サング類の地域分布である(福田ほか, 1991; 藤岡, 1994; Harii et al., 2001; 五十嵐ほか, 1993; 五十嵐・濱田, 1993; 西平, 1991; 西平・Veron, 1995; 西平ほか, 1995; 野島ほか, 1992; Yamamoto et al., 2001ほか)。日本海側の数地点に印が入っているのは、アワサング(*Alveopora*)の仲間やハマサング類(*Porites*)の小規模群落である。全体として低緯度域程多様性が高く成長率も良いことと併せると、日本列島での造礁性サング(群落)への分布北限は明白である。孤島の性格に支配された、太平洋上のハワイ・ミッドウェイ火山島群での状況との決定的な環境差であり、これまでの生態学的知見は、日本列島でのこの“事実”によって確実に塗り変えられたことになる。

ちなみに、黒潮本流(真潮)の直撃を受ける日本列島東方海域の太平洋に浮かぶ伊豆七島の三宅島(南西側)には、緯度としては異例の造礁サング群落の発達がある(Tribble and Randall, 1985)。同じ三宅島の1983年噴火で、マグマ水蒸気爆発によって投出された沿岸の石灰質層(貝類やサング類が主体)中には、数種類の群落サング片が比較的頻度高く含まれていることも注目値する。おそらくは、“沼サング層”相当層に由来するものと推定されている。

なお、インド洋海域、とりわけアラブ半島を囲む溝状の海、つまり紅海やアラブ海(ペルシャ湾)においては、いわゆるサブカの発達する周辺で、ストロマトライト型環境が見られる。とくにアラブ海の湾奥では、一種の閉鎖的水域が形成され、加えて周辺から砂粒の供給もあり、熱帯域での独特の造礁性サング類分布が認められる。一帯は、プレートテクトニクスによる海嶺頂部に相当するので、そうした特徴も反映していそうである。湾奥部に向かって塩分も大きくなるから、オーストラリア西岸のシャークベイと似た砂りッチの条件も加味され、特有のサング類の分布が見られることになる。陸縁に向うにつれ塩分の上昇を伴いそれを中心に熱帯域としての一種の極限環境となりうるので、この海浜での造礁サング類分布には、それなりの地域特性が発揮されることとなるのは確かである(Debelius, 1998; 濱田, 2002b; Mc Clanahan et al. (eds.), 2000)。



第6図. 造礁型生物サンゴ類の深度および水勢による分帯との三次元的表現. (1) 石灰藻類, (2) *Pocillopora*, (3) *Acropora*, (4) *Favia*, (5) *Porites*. (黒丸) は水勢ゼロの仮定点 (Dubinsky, 1990; Goodall and Dubinsky, 1990)



第7図. 地球規模での造礁サンゴ類による生態上の分帯. (Dubinsky, 1990; Goodall and Dubinsky, 1990) (1) 主として被覆型～非分枝型群體, (2) 分枝型群體, (3) 塊状群體 それぞれの卓越する帯.

第4章 “サンゴ礁” をとりまく環境科学

i. 複雑系としての広領域 - 超領域科学の捉え方(立体目次)

自然環境が非常に入り組んだ複雑系であることについては、誰にも異論はあるまい。それにシステムとして理を通ず立場(部分システム)と、全体的な“混沌”～“カオス”にまでつながってしまう幅広の環境構成には、ほとんど無限の要素が含まれることになる。複雑系には本質的に大量・多彩な要素が密に絡むのが特色であり、それを上手く理解することは一般に極めて難しい。そこで、ある許容度の中で限定されたシステムをとり出し、核心を突く結論を求めようとする努力が重ねられることになる。

システムのとり方は千差万別ではあるが、例えば仏教思想で言うところの“曼陀羅”型分野群は、たとえ二次元的表現であっても、実はその立体配置が本質なのであって、これもいかにうまく立体地図化するかで、大方の勝負が決まってしまうものと思われる。ただ、このような発想では、要素と要素との間にいかなる相互作用+関連があるかという判断には、個人差が余りにも強く出てしまうことが一つの“阻害要因”ともなる恐れを内在させてしまう(濱田(監著), 2000; 濱田, 2002a, b)。

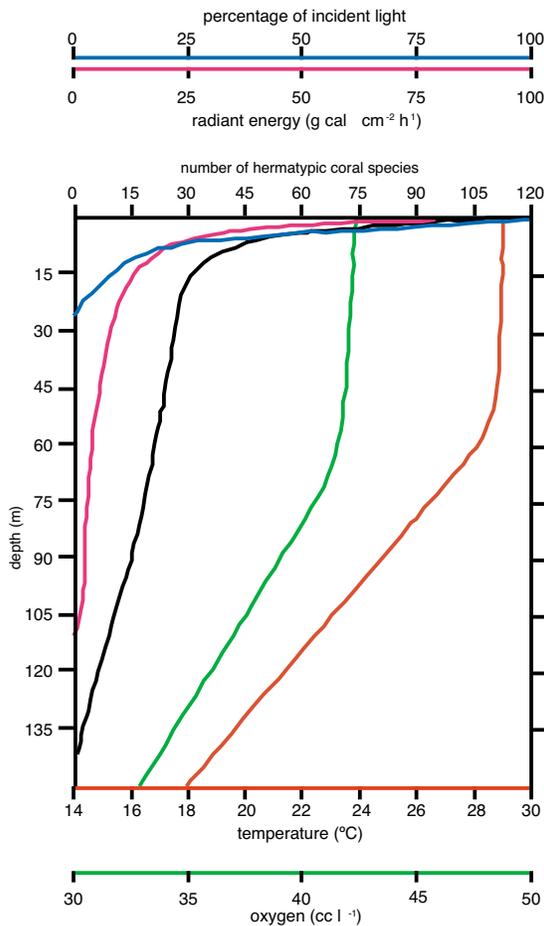
そこで、曼陀羅を超領域発想と読み変え、そこに何らかの解釈が下せるなら、それは一つの収穫であり、仮りに有意の解析が一時的に不可能となったり扱いに不十分な点が出てくるとしてもそれをある程度は予測できる、というメリットを生じる筈である。こうした試みを、できれば複数例用意し、どのケースが最もよく表現できるものかの検証に役立つことが可能となろう。もしその時点で疑問が残ったとしても、何か一つ新たに中間要素を置いたり開発したりすることによって、そのシステムがより良く機能するものとなれば、それはまた新しい成果への展望が開けたと言えることも可能であろう。

さて、ここで一先ずシステムの原点に立ち戻って、模式的な関係の在り方を吟味してみよう。海洋環境がらみであれば、第6図に示すような三次元的関係を各座標軸(cordinate)に意味付与することにより、現実の石サンゴ類の分布主体の占める領域(domain)が定義されることになる。3軸とは、水深、波力、そしてその海浜における広がりである。もう一步考えを進め(第7図)、礁前縁、礁原、バックリーフの三環境の関係として眺めてみよう。環境が異なっても、類似形態が主となる生態型サンゴ群落の発達が見てとれる(参照: Boucot, 1981; Hamada, 1959a, 1973a; Riegel and Branch, 1996)。これらの論点はかなり大胆に単純化したケースではあるが、別の切り口で見ると、種の構成ではなくより本質的な環境依存のパターンを示したものと理解してよい。

もう少し違った環境要因からの説明を試る。第8図は、今度は石サンゴ類の種類の多寡と、水温・光量・光のエネルギー換算・深さそして酸素量という諸要因との関係をグラフ化したものであり、すべての環境要因に関し、種数が右上に向かって増大することを示してある(山里, 1991ほか)。逆に環境解析には、実はこうした諸要因が複雑に絡んでいて、軟体中に共存する共生藻類(バクテリア)の働きの大きさを支配しているとする見方も成り立つ。

以上の他にも、複雑系を示すサンゴ礁に関してはまだまだ多くのよりマイナーな要件があり、その全てについて明確に“独立要因”であることを示すことはできない。しかし、現実問題として、「サンゴ礁学」には、第3表に示すように多彩かつ広範な環境要素が3D的に複雑に絡んでいて、その要素の全てをあげることは不可能に近いが、研究分野として“二重球構造”を仮定するとなれば、かなりの超領域分野について有益なヒントが得られることは言うまでもない(濱田, 2000)。

超領域に関するまとまった研究は、いくつかの限定された百科事典的な分野で開発されてはいる。がしかし、



第8図. 造礁サンゴ類の種数と、関連する環境諸要素との関係。(光と共生する褐藻類との関係) (Wells, 1957より)

「立体目次」と命名している超領域分野整理学 (濱田 (監著), 2000; 濱田, 2001c, 2002a, b) にあっては、例えば分野地図をどう作るかとか、分野間に存在が予測される関連性をどう数量化できるかという大問題が残されることになる。だとしても、最も関係が深そうと思われる部分だけを“シナプス”でつなぐ作業を進めてみると、その複雑性には驚かされる。言葉では云い表わせないうらみがあるので、第9図に「サンゴ礁学」(第3表)での事例 (濱田, 2002b) をとりあげてみた。

この第9図については、点群分布としては一見するとあまり多くない印象を受けようが、シナプスを張り巡らしてこれらの点群のもつ相互作用系 (の一部) を示すならば、意外なほど多岐に亘る関係性が現れてくる。分野へのラベルを貼り付けるとより錯綜するので、ラベルは別個に点群に対して貼ればよい、という改良点も確かに見えてくる。ちなみに、前述の通り、これはあくまでの1個人の主観に基づく曼陀羅であり、他人が手をつけたとしても決して同じものは出来ないという代物ではある。敢えて言うならば

“曼陀羅”のもつ複雑系の一つの個性的な様態と捉えていただくといよい。ただ、複雑システムの本質の解析は、ここからスタートすると言って決して過言ではあるまい。

ii. “網目状進化”と称するベロン流のサンゴ種群分類が胎む諸問題

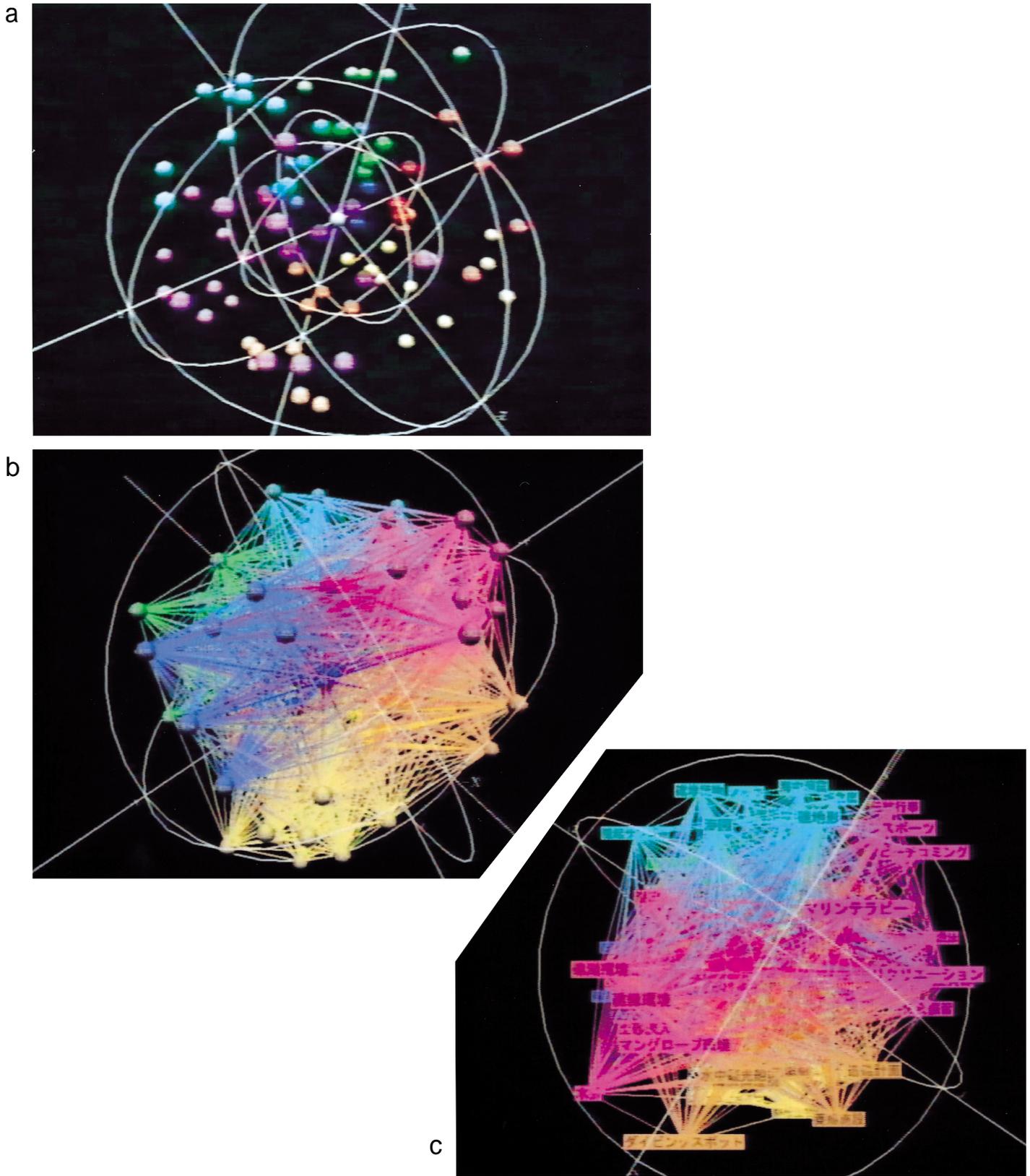
ベロンが2000年の著作で指摘している“網目状進化” (reticulate evolution) (Veron, 2000) に言及する前に、念のため、種分化 (speciation) とか種以上の高次分類体系について、その基本となりそうな事項を簡略に説明しておこう。

生命体の根本をなす進化については近年、とくに化学的～遺伝子レベルでの検討や集団遺伝学的解析あるいは遺伝子組み替え実験、はたまたクローン動物 (羊が好例) が注目され、手法としてはPCR法の開発・普及が進むなど、まさに“近代化の途”をまっしぐらに走っていると評してよい。ただ大切なことは、現生生物についてのミクロな視点からの研究にはたしかに成果が次々にあがってはいるものの、いわゆる大進化 (macro-evolution) として一括される種以上の分類単位では、とくに古生物をも包含することになるので、むしろ百家争鳴の感がしないでもない。

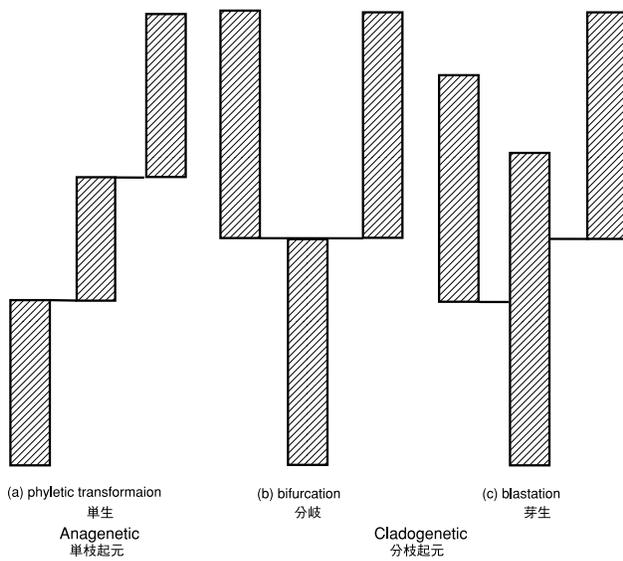
生命の歴史を継時的に詳しく辿ってみると、単細胞としての性の未分化段階から事が始まっていることは誰にも否定し難い。性別については、一般に大きく言って雄性と雌性との区別があり、とくにヒト (*Homo sapiens*) に関してはいわゆる“中性”があったり、屢々“性転換”も外科手術的に行われるという事態まで生じている。本来、原始的な生物は、性が分かれる前に、体そのものを分割・分裂させたり発芽・分離による個体増殖をはかっていることは言うまでもない。ただ、雌雄同体の動物については、時により、あるいは環境 (主として外的気温等) によっていたり、はたまた“環境ホルモン”と称する為体のしれない“成長阻害要因” (複雑な要素がからんでいるらしいが) などが、事態はそうシンプルではない。

いきなり人類に言及するのもおかしいが、ヒトは生まれつき男女共に乳首 (乳頭) を有するという現実があるうえ、左右の列共かなりの頻度で発達初期の副乳 (複数の場合もある) が出現するなど、“第二性徴”が明確になるまでは、本質的には個体発生レベルでのいわば初原的かつ機能不全の状態にあると言ってよい。成長ホルモンと性ホルモンのバランスが成り立つようになって、初めて男女の体つきとか、生理現象等様々な区別が実質的に現れてくる。

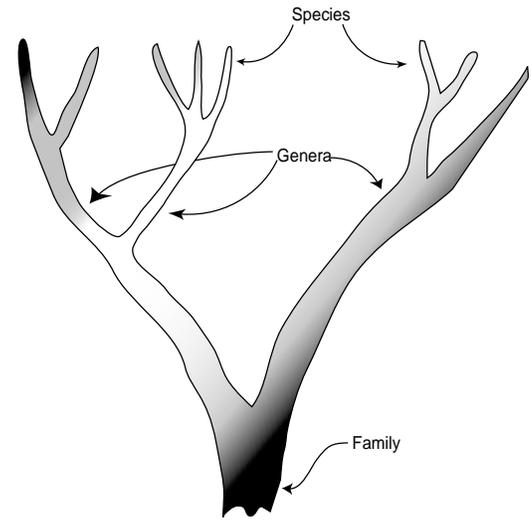
植物世界では、元来“株分け的”なクローンがある一方、やや高等になると雌雄異株のものも出てくる。“生きている化石”として名が通っているイチョウやソテツからの“精子”発見は、生物の本質がかなりの幅をもつ分類単位に及ぶことを示す好素材である。一般に、卵子には精子が、そして雌蕊 (めしべ) には雄蕊 (おしべ) からの花粉が到達することによって子孫を継ぐという両性の役割割り果たせる。これらのような受精 (授精)～受粉のメカニズムとしては、サンゴのあるものや魚が代表的であるし (体外受精)、交雑 (交尾) 行動による体内受精のことも少くない。



第9図. 超領域分野の3D画像 (造礁サンゴ関連) a. 点群分布 (二重球構造) b. シナプス分布 c. ラベル - シナプス分布



第10図. 種分化の型 (構成的表現) (Spalding et al., 2003)



第11図. 科, 属, 種の分岐関係 (Veron, 2000)

体の内外, というカテゴリーにもいろいろのケース (段階) があり得て, 受精後に“卵”の形で体外に出てくるもの, 発生の初期に体外に出るものかなり大きな“亜成体”まで腹の子袋で育てるもの, 卵殻や卵嚢で産み落とされてからハッチ (孵化) して稚子になるもの, 幼生時代に何回も著しい変態を経由するもの等々, 実に多彩な「個体発生」~「発育過程」が知られている。

クラゲ類やサンゴ類のように, 無性生殖 (分裂・発芽等) 期と有性生殖期とを交互に持つグループは, 進化レベルからみると, ちょうど中間型に位置づけられるものであることは言うまでもない。

ちなみに“変態”にやや近い生態型の成体として, これまた様ざまの個体が存在し, それがあたかも花など外界の条件を擬しているかの印象を与えたり, 他の“宿生動植物”の中にカムフラージュ的に埋没して外からの識別が難しくなるようないわゆる“擬態” (mimicry) には, 時に「人が見る立場」を強調する余り, 生態学的に誤った説明を下してしまうケースすらある (チョウ類等の色調・紋様・光沢など)。

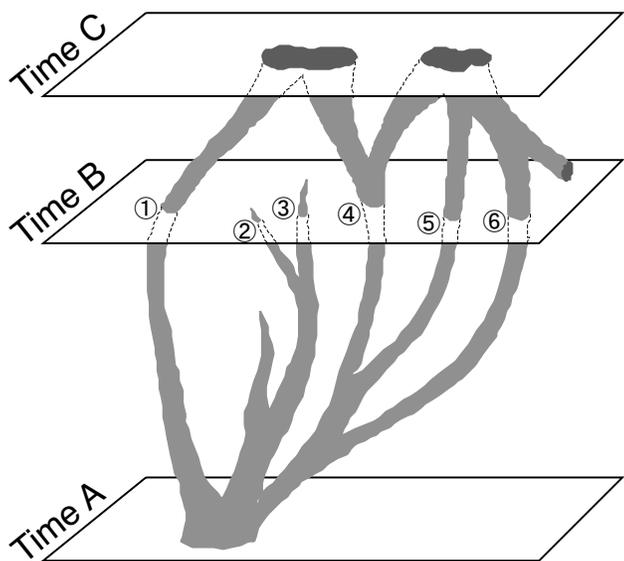
ところで, ベロンの述べている網目状進化に入る前に, 生物界での基本をなす“種分化”についてコメントしておくのが正しかろう。前出のように学術用語として, “種”は分類学的に容認される最小単位だとされている。“亜種”という術語の使われ方には, “種に至る前の”といったニュアンスで, とくに古生物の世界で用いられることがあるが, これは厳密には同所性 (sympatric) では成り立たず, 異所性 (allopatric) でなければならないことであり, 繁殖力を持ちかつまた遺伝的にも有効でありながら, 地理的環境等のバリアによって生殖隔離が進んでしまったものを指

す。外見 (外部形態) だけで僅かの差しかないから亜種に入れておく, という考え方は原則として捨てられねばなるまい。

ちなみに, 変種というのは, ただの variation ではなく, variety としての遺伝子レベルの突然変異が元にあって, それが“致死因子”でない限り子孫 (F_2 以降) をきちんと残せるもの (例: 犬や鳩の仲間) である。植物では数多くの変種が作られていて園芸品種と称されていることが普通である。なお, 子供ができて, 第2代雑種 (F_2) が有効でない場合, いわゆる無効分散となり, 種とは認定されない。イノシシとブタとの間にイノブタ, ウマとロバとの間にラバ, 魚の場合は体色パターン等の中間型等がよく知られている (例: 瀬能, 2003)。チョウの翅の左右が雄性紋様と雌性紋様をもつものなど, 遺伝子のズレとの結果の例に入るであろう。なお, 遺伝的突然変異として色素不足で体色がいわゆる“白子”化する場合も少なく, ヘビ, カラス, 哺乳類, 魚類等々に時折り見出されるものであることは言うまでもない。

ついでに, 最近話題に登場してきた“複合生物”としての個体について述べておこう。結論的に言うならば, “個体”と見えても, 機能的に不可分の他源の生物同士が一つの“コミュニティ”を形づくっているものである。ハチやヒトをはじめ, 多くの生き物でこのような新しい視点での解説が試られている。

さて, ここでベロン (2000) の称する網目状進化に関し, 若干の意見を述べておきたい。まず基本となる種分化の場合, 現代的な表現としては断続平衡説で第10図のような単生型, 分岐型, 芽生型等が継時変化として認められるものであるとの認識がとり敢えず最近の解釈である (Wilson,



第12図. “網目状進化”のイメージ (Veron, 2000)

1999) としよう。これに対して、ベロンが扱った石サンゴ類の“進化”は、第11図に示される通り分類群を超えた、あるいは分類群そのものの根幹が科レベルにあってその下位構造として（継時変化ではなく）、属種というように表現されている。これは、いわゆる系統樹的表現というより分類学上のレベルの違いについての説明であると認識されるが、少なくともDNAの解析からこのような現象を説明するのは難しい。

ベロンが太平洋域でのサンゴ類の地理的分布を、あたかも第11図で説明できるかのように捉え、同時であるべきものを異なった時間面で切った局面として扱っている（第12図、Time A, B, C のような：～は省略）ことには、腑に落ちないもの (Gould, 2001; Jackson et al., 2001; Knowlton and Budd, 2001; Pandolfi et al., 2001) がある。つまり、ベロンの言う“網目状進化”はむしろ、環境差～生態差を強く反映したものが形態の類似まで生じ (Riegl and Branch, 1996)、それに関して別のアプローチをとろうとしたものであろうとしか考えられない。このことを巡っては、今後様々な論議が交されるに違いない (Jackson et al., 2001; Knowlton and Budd, 2001ほか)。

iii. 近年のサンゴ類原色図鑑等にみられる“生態系”について

さて、視点を広く海外にも向け、近年集中的に刊行されている「自然誌主体の原色カラー図鑑」類のうち、サンゴ生態やサンゴ礁とその周辺の環境条件を探る試をしてみよう。実際に生態図鑑とか環境図鑑という名称は、どちらかといえばマイナーな存在でしかない。しかし、そううたわなく

とも、現実に静止画像として“動きと変化の著しい”サンゴ類やその生態・環境を、こうだと明示するのは容易でない。むしろ、今日的な感覚で捉えようとすれば、結論的ではあるがビデオや映画のハイビジョン方式で、その“動き”をしっかりと追うのが肝要であることに異論はあるまい。

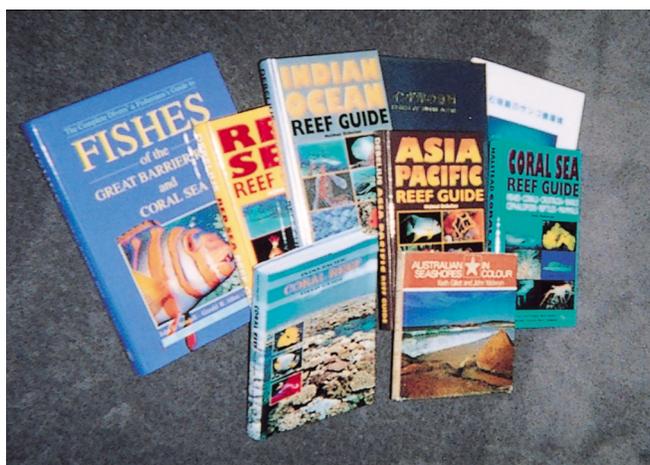
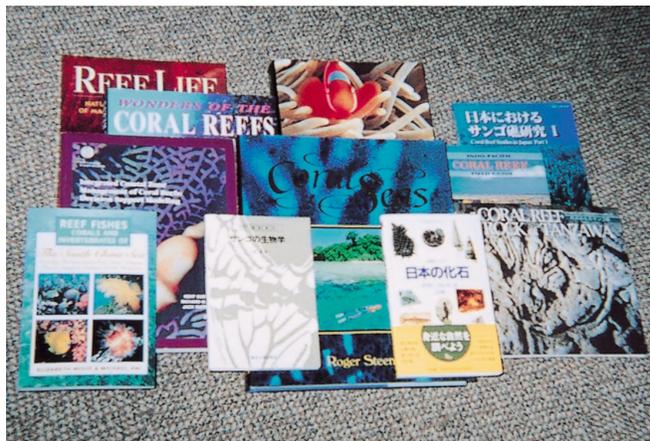
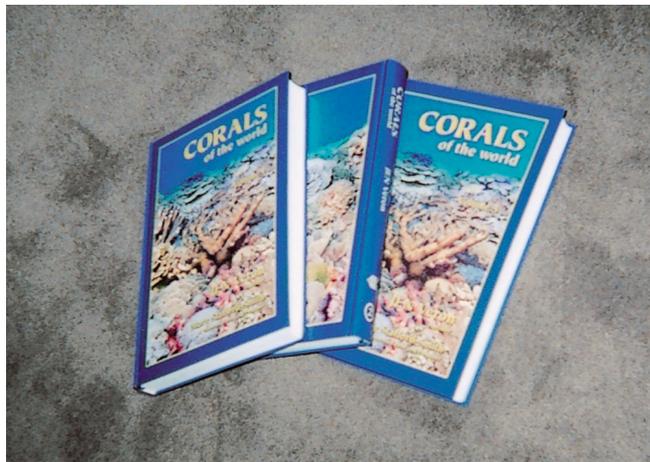
事実、多くの石サンゴ達はほとんどが夜行性であり、固着性が強く“受け身型”の捕食行動をしていて、積極的に動きまわる例は殆どない。目につくのは、イソギンチャクと同様、サンゴ個虫が“流れ物”（主としてプランクトンや小動物）を“反射的に”素早くキャッチし、そのあとしっかり抑え込みをかけるか刺胞を用いて麻痺させ、やおら腔腸内に取り込んで養分にまで分解したうえ消化・吸収し、残りカスを入口と同じ口から排出する、という巧みな知恵を行動として発揮できているのである。

プランクトンの多くが主として夜行性でありかつ走光性をもつことから、勢いそれらを待ち受けて栄養源とするサンゴ類の生きざまには、たしかに驚異的なものがある。こうした固着性を原則的に持ちながら、“動きが激しく”しかも“受身の”摂餌行動であるが故に、スチール画像の持つ情報量は大きく限定されることになる。とは言うものの、駒撮り型のスチールを羅列したところで効率は上がらないという点を見込むならば、摂餌や生殖行動のキャッチには、余程幸運なシャッター・チャンスに恵まれることしか期待できまい。最終的には被写体を粘り強く追うか、ビデオあるいはデジタル動画で“長まわし”をし、かつその中へ自からを没入させるくらいの覚悟が必要と言えよう。

しかし、現今ではいかに様々な動画画像がITがらみで記録されるとしても、それはデスクあるいはプロデューサーの考えるシナリオ通りにはうまく運べないという認識が常識であるに違いない。万が一幸運にキャッチできたとしても、スチールにおとしてみても何が何だかさっぱり判らない例の方が圧倒的に多いことも、ある意味では当然であると言える。たしかに、決定的瞬間を抑えた、と思えるシーンであっても、それは激しく動いているものを上手に捉えた、偶然に近いある一つの“瞬間”に過ぎないのである。ということは、動きのある動画画像のある一瞬をうまく切りとってフィックスし、その続きを再び動かすという動作を度々繰り返さねばならない、といった“宿命的”ジレンマに陥りがちなのである。

巷にいまわっている“生態図鑑”類からは、そうした解説を見ただけで読みとることはむしろ稀であり、「雰囲気」としての生態や環境をダイナミクスとして捉えようとする例が圧倒的に多い。たしかに同じサンゴ群体とその周辺では、昼間と夜とでは全く印象が違う。ライティングの巧みさはもちろん必要ではあるが、夜の方が“生物学的に”はるかに賑かなのである。周りが暗くなってからのことでもあり、集中して観察ができるというメリットにも拘わらず、実際の作業に当たる場合、カメラマンを除くと動態図鑑編集担当者はそのようなことをえてして面倒くさがる傾向をもち易い。昼間の情景を使いながら、出きるだけ美しくしかも“意味有り気な”シーンのみを追及し選び出すという風潮に流されがちだともいえそうなのである。

それにしても、サンゴ礁環境こそが熱帯水域としては多



第13図. 近年の原色サンゴ礁関係図鑑類

様性が最も高い部分、と評されるだけのことはあり、その複雑な夜間の生態系の描写には、動画像としても静止画面としても実態を掴むのになかなか苦労が多い（例：Aw, 2000）。書誌学的には、最近のカラー印刷技術やコンピューターによる三千万種とも言われる色彩の多様さのみに注目されがちであることは言うまでもない。例えば、生きたサンゴ個虫のあのまばゆいばかりの蛍光、ゴシキエビの多彩な色彩と装飾、ベラの仲間やチョウチョウウオ類、風変わりな姿態のタツノオトシゴ類の多彩な色パターン（例：Kuiter, 2000, 2002）、それも稚魚と成魚に、時には雄と雌にさえ大きな相違等々があり、うっかりするとそうした現実に目を奪われてしまうケースも少くはなからう。

海面に顔を出したときのサンゴ礁の部分のあの艶かさや複雑さももちろんであるが、実はその周辺での夜の活動ぶりにはまさに目を見はるものがあり、その描写に言葉を失うようなことも屡々起こる。それは、礁の枠組を構成しているサンゴ類のみならず、バラエティに富む数多くの“住民達”も一緒になって、絢爛豪華な競演の場を生み出しているからに他ならない。これらの礁からむ多くの生き物に、ぐっと近寄ってアップしその表情の豊かさに気付くのは、スチールでしか味わえない造形的醍醐味でもあり（Jones and Shimlock, 1990）、往々にして“海中顔面博”的取材（中村, 1987）に力が注がれてしまうこともまた理解し易い。同様に、ある目的意識がはっきりしていて、それをどう表現するかについての“技”が確かであるなら、吟味のうえで原色の写真集にはかなりの旨味を添えることが可能とならう（Mann, 2000）。

一つの好例として、タツノオトシゴ類に関する図鑑（Kuiter, 2000）をあげておこう。タツノオトシゴ類は、その特異な外形や色調の変化で世界的に人気がある魚の仲間である。しかし、これまでの生態図鑑では多くが特定地区のものについての限られた写真が使われていて、全体をつかむにはどうしても不足がちであった。カイターはその経験の深さと多才な“友人達”の手厚い援けを得て、編者であると同時に主題をよく表現できることを狙って、例えば mating の駒撮り写真を一定のアングルから狙ったり、水槽飼育での観察で一連の行動を記録するなど、素晴らしい静止画図鑑に作り上げることに成功した。このことは、とりも直さず、動態把握への限りなく近い扱いであり、静止画図鑑のもつ限界の一つと言えそうなのである。

しかしながら、生態学的にあるいは環境科学として本質的に意味が大きいのは、見ばえが悪かったり全く人目につかない“者達”もまた、その一人ひとりが環境の中で意味を持つのであり、決して観察者は役立たないと断定しないよう“自制的念”を先ず抱くことである。言うには易く、それを画面でどう取り扱うかについては、工夫もまた大切であることは確かである。その意味で、海中の、しかも熱帯域での環境がらみのアイテムには未だまだ不十分性が高く、従来の“生態図鑑”や“環境を売り物”にする図鑑・写真類には、むしろ、動態解析にとって前途洋々たるものが残されている、という表現が相応しいのかもしれない。

ところで、サンゴ礁域の生態や観察には、何といたっても実際のヒトの手や目による“現場”での五官的体感を優先

させるのが好ましい（大方, 1990 ; Ryan, 1994）。初心者には多くの事を期待できないとしても、一応の有経験者の持つ“勘”どころは決して捨てたものではない筈である。多彩で複雑な動きの中で、千載一遇の好機に出遭うかも知れないからである。その意味で、Kuiter (2000) の発想による多くのプロ水中写真家達の日本での事例を含む世界各地からの作品の開陳は、大変興味をそそるものといえよう。

素潜りよりはスノーケリングの方がより多くの情報取得に利があり（Ryan, 1994）、水面のごく表層に近い部分に注意深く目を配ることが大切である。もちろん、酸素ボンベや圧搾空気のタンクを背負う場合の方がはるかに行動範囲が広がることは言うまでもない。がしかし、船べりからいきなりザンブと飛び込む“ルードな”態度には、戒めが要るであろう。タンクの重みと腰の鉛ウェイトが利いて、殆ど努力をしなくても10~30mの深さまで到達できてしまい、肝心のごく浅の海底景観を構成し演出しているコミュニティの素晴らしい生態の世界を見ないままに終わってしまう例があまりにも多いからである。

潮の流れが強い狭いチャンネルや水道では、ポジショニングに対する努力を払うことももちろん必要であろうし、パディングも必ず実行し、万が一の危険を極力避けるように心懸けねばなるまい。前もってライセンスを持つ人達からのアドバイスを、毎回確認するくらいの姿勢が大切とならう。バックグラウンドとの微妙な違いを見付ける擬態識別など、特異なジャンルについては、とくに慎重な観察が必要となることは言うまでもない。

素潜り~ダイビングでない場合は、動態観察の手段としてゴーグル、ガラス製箱眼鏡~グラスポート、潜航観察船等々の活用ももちろん分かせまい。しかし、いわゆる“科学的調査”よりは、どうしても一過性の“観光姿勢”が優先してしまうことは止むを得ない。じっくりと腰を落ちつけ、カメラを固定して観察するには、水中観察タワーで明確なように、必然的・本質的に不便を伴うのは自明であり、そこには様々な限界もまた表面化してこよう。

動態系を観察し、しっかりした成果を得ようとするのであるなら、もう少し頻度高く例えば季節毎に“定点”を訪れて、その変化を記録することもまた欠かせまい。自然界の中では手を出す余地が存外に少いであろうから、勢い“養殖型”~“飼育型”の大小様々な「着生板」~「着生基盤」の使用も大いに役立つ（石井 他, 2001 ; Humann and Ned Deloach, 2002a ; 沖縄開発庁総合事務局建設部（監修）, 1999 ; 大久保, 2003 ; テトラ株, 2003）。しかも、これらについても自ずと限度があり、自然態での複雑系にあっては全く別の発想と観察が要る。観察定点に測線やコードラートを設置してカメラで順次収めておき、それらをドキュメント化することは、良いデータを得るチャンスにつながるに違いあるまい。優秀な水中カメラマンは、実質的に科学者と呼ばれることがあまりない。逆に科学者がダイビング技術を十分にこなす、と考えられることが多い日本にあっては、本質的に職能分化の壁を越えることが予測よりはるかに困難だからである（Kuiter, 2002）。

数多くあるカラー図鑑類（第13図）（Allen and Steene, 1994 ; Aw, 1997 ; Debelius, 1996, 1998, 1999, 2001 ;

Faukner, 1974; Gillet and Yaldwin, 1969; Halstead, 2000; Humann and Ned Deloach, 2002a, b; Jones and Shimlock, 1990; Knowlton and Budd, 2001; Mojetta et al., 2000; 沖縄開発庁総合事務局建設部(監修), 1990; Spalding et al., 2003; Steene, 1998; 鈴木, 1999; Van der Loos, 2001; Wallace and Aw, 2000; Wood and Aw, 2002など)で見ると, 上述のような視座でのダイナミックな研究は正直なところお世辞にも多いとは云えない。だが, 頼もしいことには, こうした“水中景観”的・造形的取材の中から, “著者”の意識を超えて“科学者”がどのような“付加価値”を見出せるかに注目する事例がようやく増え始めているのである。進んで, 一人のプロの潜水科学者が, 年間を通してデータを集めることは殆ど不可能であるというあきらめの思想を捨てて, 多くのプロ・アマの取材資料をIT手法でネットワーク化し, 正式に“画像”に登録番号を与える試みが, 最近注目されている。そしてその中からすでに思いがけない“新発見”や“新事実”が, 次々と報告されるようになってきている。ITがらみの画像情報化を活用した, 新しい水中版の「地域環境動態学」の誕生が十分に予測できるところまでできているのである(例: Kuitert, 2000, 2002)。

最近, 数多くの大型版写真集が自然誌関連で出版されていて, 別の角度からの評価もあろう。すなわち, 世界遺産としてすでに登録されている屋久島については, 海水系としてマングローブや, 明確な裾礁タイプの造礁サンゴ群体が, 狭い湾内で非常によく成育している“美しい”ショットがかなり注目されている(水越, 2003)。ある地域あるいはある特別の生態系についての総合的な生態・動態の資料としては, 図鑑類とは違った味があって情報量も少ない(倉沢, 2001; 横塚, 2002ほか)。なお, オーストラリアの博物館では未だに手書きのカラー図鑑発行しており(Allen, 2000), 昆虫で云うなら“展翅状態”での各ヒレの部位を正確に表現していて, 生態写真を中心にした“形”の捉え方とは別の意義が重宝がられている。今後はこうした“脱図鑑”型知的情報提供にもしっかり気を配る必要を示唆するものと捉えてよかろう。

ちなみに, 世界の多くの博物館には, 精密なレプリカを大量に用いたジオラマが配されている。流石に, サンゴ礁に関しては古生態復元を含め, あまり例は多くない。しかし, 現世のサンゴ礁景観を“生態学的”に正しくコピーすることは意外に難しく, 勢いモデル的でむしろシンプルな構成をとることになる(Fossa and Nilsen, 1996-2002; Hangay and Dingley, 1985)。中には本物のサンゴ群体を適当に組み合わせ, いかにも真の水中景観, と思わせようとするかの演出も少なくない。かつてのレニングラード, つまり現在のセントペテルブルグの自然史博物館には, びっくりするような巨大なサンゴ礁ジオラマがあり, サンゴ礁学習にはもってこいの好例とみなされてきた。しかし, 現在の知識レベルから見ると, そこにはあまりリアリティは再現されていない, とも言える。それに較べると Aw (2000) や Cotes (2000) のグラフィックスは熱帯自然の在り態を総合的な扱いとしてヒトとの関わりで描写しており, ジオラマよりはるかに情報が多いので楽しめる。

余談になるが, 原色図鑑として出版界にセンセーションを巻き起こした日本の保育社「原色図鑑」シリーズは, すでに50巻に手が届いた。しかしながら, 図鑑の“古典的役割”として, 種属の同定や分類に重きがおかれてきたので, 個別の鑑定に便利のように工夫されたことはそれなりに評価される所であっても, 今問題としてとりあげているような動態系ないしは環境系についての素材としては, 扱い難い点も少なくない。そもそも生態図鑑や環境図鑑と銘打つものは, 本質的に実現に難が多いということも論をまたない。現に, 保育社シリーズで水生系の動植物を扱っているものが10巻以上にわたっているものの, 例えば「原色熱帯魚図鑑」も正・続の2冊が出ていて, なおかつ, ほとんどが淡水性のものであり, とりあげているに過ぎない。要するに, 飼育水槽で“十分”に対応し得るいわばよりイージーで“手頃な”, 観賞用ペットというレベルに墮してしまっていると云えよう。つまり, 海中生態系に関しては, 結局のところ動画的要素など動態型の把握が不可欠, という結論になってしまうのである。生きているサンゴ類の水槽中のレイアウトは, いかにも造られた, あるいは見映えのよい“景観づくり”に終始することが多く, かつ水勢環境も太陽光の恵みも固定化され, いわゆる自然誌の動態からは大きくかけ離れていることが多い(例: Brockman, 2001)。

ついでということにはなるが, こうした日本国内での(原色)図鑑ブームがそう簡単に役目がなくなるとは思えない。それは, 生態や環境の基礎には“個”レベルでの正しい鑑別が不可欠の基本だからである(Kuitert, 2000, 2002; 奥谷, 1994ほか)。分類を主題にした数多くの図鑑類が次々に出版されてきていて, その“代表作”の一つとして, 原色が少ないものの, 相模湾でのサンゴ類(ヒドロサンゴ類を含む)に特化した生物学御研究所(編)の「相模湾産ヒドロ珊瑚および石珊瑚類」を敢えて挙げておきたい(生物学御研究所(編), 1968)。そこに収載されているほとんどのサンゴ類はサイズも小さく, 群体性も低くて決して礁にはならない存在ではある。しかし, 例外的に“樹サンゴ”の仲間はいれっきとした群体性サンゴの仲間であり, 時には“大木化”して日本家屋の床柱にも用いられる例もあって驚く。本質的にはその軟体部に共生藻を欠く存在であるから, 正しくは造礁性サンゴ類のもつ定義には当てはまるものでないが, そのような群体群集が広域に発達すると, 確かに“サンゴ礁”的と呼べる環境もあり得よう。北欧での同様“樹サンゴ類”(Dendrophyllia)大群落の例でも明確なように, 地層中に残された場合は, 間違いなく枠組み素材として十分なのである。ただし, “深海性”の環境下(40~200 m位)で最もよく発達しているもの(Hamada, 1969), という条件は依然としてついてまわることになる。

第5章 あとがきに代えて

造礁性サンゴ類やサンゴ礁について, 時空を超えてまとめることは, 至難の業である。とりわけ, ここで取り上げたように動態学的な視点で扱うことは, 結局のところ“環境科学からみた進化”というところに向かう多彩な道筋を辿ることにほぼ等しいのであろう。また, それが一面のと

なるより、むしろ具体と理念とが交錯する局面になるであろうことは想像に難くない。

地球環境科学に占める海洋での役割りはまことに広大であるに違いない。が、実のところ、造礁性サンゴ類やサンゴ礁をとり上げてみると、その割合は余り大きくはないと感じる人があるやもしれない。しかし、これらを複雑体として取り扱うなら、その及ぶ範囲は関連アイテムや周辺科学を含めて、思いの外大きいことに気付かされよう。加えて、“サンゴ礁”の進化については、前出で引用の通り(柴谷ほか, 1992), 粗くサマライズしてもなおとても幅広い仕事になり、小型本の7巻程度で論を盡くすには不足であることもまた明らかである。

サンゴ礁生態関係だけに焦点を当てても、スチールやCG世界ではなかなか超えにくい面が多分にあり、今後多くの課題を残すことになるのも事実である。まして“現地型体感”を理想にしたところで、自然史博物館での展示・解説には最も馴染み難い動画的要素や多様な地理的・生物学的環境の問題となってしまう、結局不十分性が極めて高くなってしまふ。

この不十分性をブレイク・スルーするためには、旧来の発想とは別個の、“新しい時代の新しい考察”を開発しなければ、たぶん稔りはうすいことになるであろう。“網目状進化”を3Dとしてどう表現できるかに関しても、かなりの思い切りの良さを伴うべきであることが予測される。動態学的に考えても、熱帯環境とその周辺の自然アイテムないしは、それらと近年までのヒトの所作との相互作用の多様さには、いま一息の“交通整理”を要しよう。少くともそれへ向かっての新時代のヒトの努力こそが、われわれの責務であるとしても過言であるまい。そのような傾向の一つとして、Aw (2000) や Cotes (2000) らの扱い方にはむしろ環境を広義に捉えるものとして注目されるのである。

なお、ここでカレントな関連話題を一つ提供しておく。2000年7月に福島県小名浜にオープンした「ふくしま海洋科学館(愛称: アクアマリンふくしま)」では、さまざまな新規の事業を遂行して注目浴びるべき存在となっている。特記されねばならないこととして、この施設は今のところ県教育委員会の管理下にありながら、陸上・海中両生態学、つまり自然環境を直視している水族館だという点がある。とりわけ、日本列島の一大特色である北からの親潮と、パラオ付近にルーツをもつ北赤道海流の延長である黒潮とが出遭う、いわば海中の“前線”に一番近い海浜だということから、展示にもサンゴ礁生物やそれに関連する多くの話題を提供しているのが大変に目新しい。まだ出発して3年を過ぎたばかりであるので、今後の発展に大いに期待したいところである。現時点で造礁性生物を育む黒潮域にも視線を向けた、本質をつく環境設定と捉えられてよい。

地球生物史上で生物礁を形成するに至るのは、顕生代と呼ばれ始めるカンブリア紀初期に遡る。いわば生物の集合形態として礁の存在を通して地球史を語ることについては、Wood, R. (1999) の大変コンサイスかつ内容的には実に広範囲に亘っている彼の著書「Reef Evolution」に詳しい。自然界における進化は、形態のみならず生態や環境の総合

性が高く、そのみを論じたり評価したりするには非常に大きなエネルギーを要しよう。本誌の連載記事の中でいずれはとり上げたい良い課題である。が、それには“絶滅”を同時に扱うことが大切であり、それらのダイナミズムの中からサンゴ礁を含む生物礁の発展・消滅を扱うことが不可欠でもあるため、機会を見てというスタンスで文献に目を通しておくのが良い、とする指摘そのものが課題となるのである。

参考文献

- Allen, G. R. 2000. Marine Fishes of the Great Barrier Reef and South-east Asia. A Field Guide for Anglers and Divers. Western Australian Museum, Australia.
- Allen, G. R., and R. Steene. 1994. Indo-Pacific Coral Reef Field Guide. Tropical Coral Research. Singapore.
- 青木 斌. 2003. 30年間の研究を総括 — 1500万年前、丹沢は火山島 — . 「書評」: 「丹沢の化石サンゴ礁」 門田真人著. 東海大新聞, 第632号, '03/1/20.
- Aw, M. 1994. Tropical Reef Fishes — a “Getting to Know Yours” and Identification Guide. Ocean Environment Ltd., Australia.
- Aw, M. 1997. Tropical Reef Life. — Maritime Awareness Guide. Ocean Environment Ltd., Australia.
- Aw, M. 2000. A Day in the Life of the Great Barrier Reef — the Pictorial Souvenir. Ocean Environment Ltd., Australia.
- Baker, A. C. 2001. Reef Coral Bleach to Survive Changes. Nature, no. 411.
- Boucot, A. J. 1981. Principles of Benthic Marine Paleocology. Academic Press, U. S. A.
- Brockman, D. 2001. Fishes and Corals. Birgit Schmettkamp Verlag, Bornheim, Germany.
- Chan, C. Y. L. 2002. Marine Life of Hong Kong. Hong Kong.
- 陳清潮主編. 1997. 南沙群島至華南沿岸の魚類 (一). 科学出版社. 北京.
- 陳清潮主編. 2002. 南沙群島至華南沿岸の魚類 (二). 科学出版社. 北京.
- Cotes, A. 2002. Queensland's Tropical Paradise. The Great Barrier Reef and Central Hinterland. New Hohl and Publ., Australia.
- Cox, C. B., and P. D. Moore. 2000. Biogeography — An Ecological and Evolutionary Approach — (6th ed.). Blackwell Science, U. K.
- Debelius, H. 1996. Indo-Pacific Boreal Guide. Nudibranchs and Sea Snails. UW-Archer Ikan Series. Frankfurt, Germany.
- Debelius, H. 1998. Red Sea Reef Guide. Egypt, Israel, Jordan, Sudan, Saudi Arabia, Yemen, Arabian Peninsula. UW-Archer Ikan Series. Frankfurt, Germany.
- Debelius, H. 1999. Indian Ocean Reef Guide. UW-Archer

- Ikan Series. Frankfurt, Germany.
- Debelius, H. 2001. Asia Pacific Reef Guide. Malaysia, Indonesia, Palau, Philippine, Trop. Japan, China, Vietnam. UW Ikan Series. Frankfurt, Germany.
- Doyle, P., M. R. Bennett and A. Baxter. 1994. The Key to Earth History. An Introduction to Stratigraphy. Wiley, U. S. A.
- Dubinsky, Z. 1990. Coral Reefs. Elsevier Science Publ. Co. Inc.
- 江口元起・森 隆二. 1973. 千葉県館山市およびその付近の化石珊瑚と千葉県沖現珊瑚動物群について. 東京家政大学研究紀要, no. 13.
- Faukner, D. 1974. Living Corals.
- Fedorowski, J. 1987. Upper Palaeozoic Rugose Corals from Southwestern Texas and adjacent Areas. Gaptank Formation and Wolfcampian Corals, part 1. Palaeont. Polonica, no. 48.
- Folch, R., and J. M. Camarasa (Direct.). 2000. Encyclopedia of the Biosphere, vol.10, Oceans and Seashores. Gale Group (original in Catalan language), Barcelona, Spain.
- Fosså, S. A., and A. J. Nilsen. 1996–2002. The Modern Coral Reef Aquarium. (“Korallversakvariet”), vols. 1–4. Birgit Schmettkamp Verlag. Germany.
- 福建魚類志委員会編. 1985. 福建魚類志 (上. 下). 福建科技術局, 福建.
- 福田照雄・野村恵一・松本健作. 1991. 黒潮流域のイシサンゴ類と魚類の分布に関する知見. 海中公園情報, no.93.
- 藤岡義三. 1994. 南西日本のイシサンゴ生物相. 南西水圏ニュース, no. 51.
- Fujioka, Y. 2002. Destruction and Recovery of Hermatypic Coral Communities after the Mass Bleaching Event at Ishigaki Island. Galaxia. Jour. Japan. Coral Reef Society, no. 4.
- Gillet, K., and J. C. Yaldwin. 1969. Australian Seashores in Colour. Charles E. Tuttle Co. Tokyo, Japan.
- Goodall, W. D., and Z. Dubinsky (eds.) 1990. Corel Reefs Ecosystems of the World, 25. Elsevier Publ.
- Goudie, A. 2001. The Nature of the Environment. 4th ed. Blackwell Publ. Ltd., U. S. A.
- Gould, S. J. 2001. The Interrelationships of Species and Punctuated Equilibrium in J. B. C. Jackson et al. (eds.), Evolutionary Patterns, Growth, Form, and Tempo in the Fossil Record. The Union Chicago Press, U. S. A.
- Gustavson, K., R. M. Huber and J. Ruitenbeek (eds.) 2000. Integrated Coastal Zone Management of Coral Reefs: Decision Support Modeling. Work in Progress for Public Discussion. U. S. A.
- Halstead, B. 2000. Coral Sea Reef Guide. Fishes, Corals, Crustaceans, Snails, Cephalopods, Reptiles, Mammals. Great Barrier Reef, Papua New Guinea, Solomon Islands, Vanuatu, New Caledonia. Sea Challengers. UW-Archer Ikan Series. Frankfurt, Germany.
- Hamada, T. 1956. *Halysites kitakamiensis* Sugiyama from the Gotlandian Formation in the Kuraoka District, Kyusyu, Japan. Japan. Jour. Geol. Geogr., vol. 27, nos. 2–4.
- Hamada, T. 1957a. On the Septal Projection of the Halysitidae. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II, vol. 10, pt. 3.
- Hamada, T. 1957b. On the Classification of the Halysitidae, I & II. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II, vol.10, pt. 3.
- Hamada, T. 1958. Japanese Halysitidae. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II, vol. 11, pt. 2.
- Hamada, T. 1959a. Corallum Growth of the Halysitidae. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II, vol. 11, pt. 3.
- Hamada, T. 1959b. On the Taxonomic Position of *Favosites hidensis* and its Devonian Age. Japan. Jour. Geol. Geogr., vol. 30.
- Hamada, T. 1961. The Middle Palaeozoic Group of Japan and its Bearing on her Geological History. Jour. Fac. Sci., Univ. Tokyo, Sec. II, vol. 13.
- 濱田隆士. 1963a. 千葉県地学教育研究会 (編) サンゴ篇. 30pp. 千葉県地学教育研究会.
- 濱田隆士. 1963b. 千葉県沼サンゴ層の諸問題. 地学研究, 特集号.
- Hamada, T. 1968. Devonian of East Asia. Proc. Intern. Symp. Devonian System. Calgary, 1967, vol. 1.
- Hamada, T. 1969. Ahermatypic Corals from the Pleistocene Ninomiya Formation in Kanagawa Prefecture. Central Japan. Sci. Pap., Coll. Gen. Educ., Univ. Tokyo, vol. 19, no. 2.
- Hamada, T. 1971. Discovery of *Calceola* from the Fukuji Series, Gifu Prefectures, Japan. Sci. Pap., Coll. Gen. Educ., Univ. Tokyo, vol. 21, no. 1.
- Hamada, T. 1973a. Caliceal Increase in Massive Corals — A Geometrical Implication. Sci. Pap., Coll. Gen. Educ., Univ. Tokyo, vol. 23, no. 1.
- Hamada, T. 1973b. “*Cladochonus*” (Tabulate Coral) from Red Bed of Malaya. Geol. Palaeont. S. E. Asia, vol. 13.
- 濱田隆士. 1973. 5. 腔腸動物, § 2. 生態 in 浅野 清 (編). 新版古生物学 I. 朝倉書店.
- 濱田隆士. 1975. 日本の化石サンゴ礁 — 最古と最新の2, 3の例を中心として in 小西健二 (編) サンゴ礁. 海洋科学, vol. 8, no. 7.
- Hamada, T. 1976. The Holocene Corals of Raised Reefs of Japan. Proc. Int'l Symp. Corals and Coral Reefs, Paris, Sept. 1975. Mem. Bur. Rech. geol. min., no. 89. pp. 389–395.
- Hamada, T. 1991. Biological Extinction in Terms of Over Adaptation in S. Osawa and T. Honjyo (eds.), Evolution of Life — Fossils, Molecules, and Culture —. Springer-Verlag, Tokyo.
- 濱田隆士. 1991. 地史的物質循環におけるサンゴ礁の生態学的役割. 月刊海洋, vol. 23, no. 12.

- 濱田隆士監著. 2000. 超領域科学としての海洋研究. 報告書. 日本科学協会.
- 濱田隆士. 2001. 日本博物館界新時代の幕開け. ミュージアム・データ, no. 53. 丹青研究所.
- 濱田隆士. 2002a. 超領域科学の扱い方 — 立体目次の有効性 —. 科学技術社会論学. 第1回年次研究大会 (東京大学駒場キャンパス) 予稿集, pp.161–162.
- 濱田隆士. 2002b. 「地球環境科学」放送大学大学院文化科学研究科. 放送大学大学院教材 8920044-1-211.
- 濱田隆士. 2002c. わが国における博物館型活動と地球環境科学への展開をめぐって—その1— 社会構成の一翼を担うものとして—. 福井県立恐竜博物館紀要 1.
- 濱田隆士. 2002d. 世界各地で異常気象. メタン放出の増加も. 未来への招待 第12回「第7回技術予測調査」から. 「海洋・地球」分野. Sci. & Tech. Jour., Sept. 2002.
- Hangay, G., and M. Dingley. 1985. Biological Museum Methods, vol. 2. Plants, Invertebrates and Techniques. Academic Press Australia, Australia.
- Harii, S., M. Omori, H. Yamakawa and Y. Koike. 2001. Sexual Reproduction and Larval Settlement of the Zooxanthellate Coral *Alveopora japonica* Eguchi at High Latitudes. Coral Reef, no. 20.
- Hopley, D. 1982. The Geomorphology of the Great Barrier Reef: Quarternary Development of Coral Reef. John Wiley & Sons, Inc. U. S. A.
- 堀 信行. 1980. 日本のサンゴ礁. 科学, v. 50.
- Humann, P., and Ned DeLoach. 2002a. Reef Coral Identification. Florida, Caribbean, Bahamas (2nd ed.). New World Publication Inc.
- Humann, P., and Ned DeLoach. 2002b. Reef Creature Identification. Florida, Caribbean, Bahamas (2nd ed.). New World Publication Inc.
- 五十嵐健志・東 禎三・濱田隆士. 1993. 伊豆半島における造礁サンゴ *Alveopora japonica* のブラヌラ放出. 1993年度日本海洋学会春季大会講演要旨集.
- 五十嵐健志・濱田隆士. 1993. 伊豆半島における造礁サンゴ類の生殖生態について. 第7回日本ベントス学会要旨集.
- 石井正樹 他. 2001. 平良港におけるサンゴ礁群集に配慮した環境修復技術. 海岸工学論文集, 48巻.
- Jackson, J. B. C., S. Lidgard and F. K. McKinney (eds.) 2001. Evolutionary Patterns, Growth, Form and Tempo in the Fossil Record. The Univ. Chicago Press, U. S. A.
- Jones, B., and M. Shimlock. 1990. Secret Sea. Fourth Day Publ., Texas, U. S. A.
- 門田真人. 2002. 丹沢の化石サンゴ礁. 文化堂印刷, 神奈川.
- 海洋水産資源開発センター編. 1977. インド洋の魚類. 東京美術.
- Kayanne, H., S. Harii, Y. Ide and F. Akimoto. 2002. Recovery of Coral Populations after the 1998 Bleaching on Shiraho Reef, in the Southern Ryukyus, N. W. Pacific. Marine Ecology Progress Ser., no. 239.
- 茅根 創・宮城豊彦. 2002. サンゴとマングローブ — 生物が環境をつくる. 現代日本生物誌 12. 岩波書店.
- Knowlton, N., and A. F. Budd. 2001. Recognizing Coral Species Present and Past in J. B. C. Jackson et al. (eds.), Evolutionary Patterns, Growth, Form and Tempo in the Fossil Record. The Univ. Chicago Press, U. S. A.
- 国家海洋局科学技術司 編. 2000. 西北太平洋副熱帯還流研究 (). 中国海洋学文集. 海洋出版社, 北京.
- 小西健二 (編). 1975. サンゴ礁. 海洋科学, vol. 7.
- Kuiter, R. H. 2000. Seahorses, Pipefishes and their Relatives. A Comprehensive Guide to Syngnathioformes. TMC Pull. Chorleywood, U. K.
- Kuiter, R. H. 2002. Butterflyfishes, Bannerfishes and other Relatives. A Comprehensive Guide to Chaetodontidae & Micsecanthidae. TMC Pull. Chorleywood, U. K.
- 廖衛華・夏金宝. 1994. 西藏中, 新生代石珊瑚. 中国古生物誌, 総合第184冊, 新乙種第31号. 北京中国科学院.
- 倉沢栄一. 2001. 日本の海大百科. TBSブリタニカ.
- Ma, T. Y. M. 1937. On the Growth Rate of Reef Corals at its Relation to Sea Water Temperature. Mem. Nat. Inst. Zool. Bot., Acad. Sinica, Zool. Series, no.1.
- Maeda, S., and T. Hamada 1962. *Waagenophyllum pulchrum* sp. nov. from a Limestone Pebble in the Takagami Conglomerate at Choshi City, Chiba Prefecture. Bull. Choshi Marine Lab., Chiba Univ., no. 4.
- Mann, K. H. 2000. Ecology of Coastal Waters with Implications for Management (2nd ed.) Blackwell Science, Inc. U. S. A.
- 益田 一・1996. 海洋生物の世界. 東海大学出版会.
- 益田 一・荒賀忠一・吉野哲夫. 1978 (2刷) — 魚類図鑑 — 南日本の沿岸魚 —. 東海大学出版会.
- Mc Clanahan, T. M., C. R. C. Shepard and D. O. Obura (eds.). 2000. Coral Reefs of the Indian Ocean. Their Ecology Conservation. Oxford University Press.
- 目崎茂和編. 1991. 石垣島のサンゴ礁環境, 南西諸島自然保護特別事業調査報告書, no 5. 世界自然保護基金日本委員会.
- 水越 武. 2003. 世界遺産屋久島 — 多様性の回廊 —. 講談社.
- Mojetta, A., A. Ferrari and A. Ferrari. 2000. Wonders of the Coral Reefs. The Red Sea, the Malaysia, the Caribbean. White Star Publ., Italy.
- 森 啓. 1986. サンゴ ふしぎな海の動物. 築地書館. 東京.
- 中森 亨編. 2002. 日本におけるサンゴ礁研究, . 日本サンゴ礁学会.
- 中村征夫. 1987. 海中顔面博. 情報センター出版局. 東京.
- 日本海洋学会. 2001. 海と環境 — 海が変わると地球が変わる —. 日本海洋学会創立60周年記念出版. 講談社.
- 西平守孝. 1991. フィールド図鑑 — 造礁サンゴ (増補版). 東海大学出版会.
- 西平守孝・酒井一彦・佐野光彦・土屋 誠・向井 宏. 1995. サンゴ礁 — 生物がつくった生物の楽園 —. 共生の生態学, no. 5. 平凡社. 東京.

- 西平守孝・J. E. N. Veron. 1995. 日本の造礁サンゴ類. 海游社, 東京.
- 野島 哲・市川 聡・松本 毅・砂川 聡・小原比呂志. 1992. 屋久島の造礁サンゴについて (予報). 海中公園情報, no. 96.
- 大方 洋二. 1990. 大方洋二のダイビングガイド「ぼくの海底旅行」. 山海堂 [Man to Man Books].
- 沖縄開発庁総合事務局建設部監修. 1999. サンゴ礁で共生する港湾整備マニュアル案 (財) 港湾空間高度化センター. 港湾海域環境研究所.
- 奥谷喬司. 1994. サンゴ礁の生きもの. 山溪フィールドブックス—9. 山と溪谷社.
- 大久保泰弥. 2003. サンゴ移植に適する基盤: 「みどりいし」, no. 14. 阿嘉島海洋科学研究所レポート. 熱帯海洋生態研究振興財団.
- 大森 信. 2002. パラオ熱帯生物研究所 *in* 中森 亨編. 日本におけるサンゴ礁研究. 日本サンゴ礁学会.
- 大森 信. 2003. 限りのある海の生物資源—滅びの道を走らないために—. 「みどりいし」, no. 14. 阿嘉島海洋科学研究所レポート. 熱帯海洋生態研究振興財団.
- Pandolfi, J. M., J. B. C. Jackson and J. Geister. 2001. Geologically Sudden Extinction of the Widespread Late Pleistocene Caribbean Reef Corals *in* J. B. C. Jackson (ed.), Evolutionary Patterns, Growth, Form and Tempo in the Fossil Record. The Univ. Chicago Press, U. S. A.
- Parrish, J. T. 1998. Interpreting Pre-Quaternary Climate from the Geologic Record. Critical Moments & Perspectives in Earth History and Paleobiology. Columbia Univ. Press, U. S. A.
- Randall, J. E., G. R. Allen and R. C. Steene. 1997. The Complete Divers' & Fishermen's Guide to the Fishes of the Great Barrie Reef and Coral Sea. 2nd ed. Crawford House Publ., Bathurst, (printed by Toppan Print Co., Singapore). Australia.
- Riegl, B., C. Heine and G. M. Branch. 1996. Function of Funnel-shaped Coral Growth in a High-sedimentation Environment. Marine Ecology Progress Series, no. 145.
- Ryan, P. 1994. Snorkeller's Guide to the Coral Reef: From the Red Sea to the Pacific Ocean. Crawford House Press, Bathurst. Australia.
- 佐野晋一. 2000. 見えない“礁”を推定する—北海道中央部下部白亜系石灰岩を例として—. 月刊地球 号外, no. 29.
- Schultz, L. P. 1953. Fishes of the Marshall and Marianas Islands, vol. 1.
- 生物学御研究所編. 1968. 相模湾産ヒドロ珊瑚類および石珊瑚類. 丸善.
- 瀬能 宏. 2003. 海での天然雑種小笠原で確認. National Geographic, '03/2 ニュース欄.
- 柴谷篤弘・長野 敬・養老孟司編. 1992. 講座「進化」: 進化論とは, 進化思想と社会, 古生物学からみた進化, 形態学からみた進化, 生命の誕生. 分子からみた進化, 生態学からみた進化, 東京大学出版会.
- Spalding, M. D., C. Ravilious and E. P. Green. 2003. World Atlas of Coral Reefs. UNEP, WCMC, Univ. Calif. Press, U. S. A.
- Steene, R. 1998. Coral Seas. Crawford Publ., Bathurst, N. S. W., Australia.
- 鈴木 淳・川幡穂高. 2002. 熱帯太平洋のサンゴ骨格気候学. 総特集“熱帯海洋生物”—物理・化学, 生物の視点から—. 月刊海洋, no. 383 (vol. 34, no. 5).
- 鈴木克美. 1999. 珊瑚 (さんご). 法政大学出版局.
- Tackett, D. N., and L. Tackett. 2002. Reef Life. Natural History and Behaviors of Marine Fishes and Invertebrates. T. F. H. Publ. Microecom., Prof. Ser.
- 高橋達郎. 1988. サンゴ礁. 古今書院.
- テトラ(株). 2003. 海洋構造物設置に伴うサンゴの大規模移植技術の開発. 平成14年度 技術開発基金による研究開発報告書 (第22集). シップ・アンド・オーシャン財団. 東京.
- Tribble, G. W., and R. H. Randall. 1985. A Description of the High-latitude Shallow Water Coral Communities of Miyake-jima. Japan. Coral Reefs, no. 4.
- 辻 誠一郎・遠藤邦彦・浜田隆士・松岡敬二. 1976. 千葉県椿海低地帯におけるキクメイシモドキの産出について. 第四紀研究, vol. 15, no. 3: 131–132.
- 辻 喜弘 編. 1990. 炭酸塩岩の基礎と調査法. 技術資料第49号. 石油公団・石油開発技術センター.
- 氏家 宏・矢田殖朗. 1987. 活動的大洋縁の大サンゴ礁—石西礁湖. 月刊地球, 9号.
- UNEP. 1995. Global Biodiversity Assessment. Great Britain & U. S. A.
- Van der Loos, R. 2001. Living Reefs of the Indo Pacific: A Photographic Guide.
- Vaughan, T. W. 1900. The Eocene and Lower Oligocene Coral Faunas of the United States. U. S. Geol. Surv., Wash., U. S. A.
- Veron, J. E. N. 1985. Corals of Australia and the Indo-Pacific. Angus & Robertson Publishers, Australia.
- Veron, J. E. N. 1992a. Conservation of Biodiversity: A Critical Time for the Hermatypic Corals of Japan. Coral Reefs, no. 11.
- Veron, J. E. N. 1992b. Environmental Control of Holocene Changes to the World's Most Northern Hermatypic Coral Outcrop. Pacific Science, no. 46.
- Veron, J. E. N. 2000. Corals of the World, vols. 1–3. Australian Institute of Marine Science and CRR. Old Pty Limit. [Evolution of Species, vol. 3, pp. 437–445]
- Wallace, C., and M. Aw. 2000. *Acropora*—Staghorn Corals. Indian Ocean: Southeast Asia: Pacific Ocean. Ocean Environment Ltd., Australia.
- Wells, J. W. 1957. Chapter 20. Coral Reefs; pp. 609–631 *in* J. W. Hedgpeth (ed.), Treatise on Marine Ecology and Paleoecology, Volume 1 Ecology. Geological Society of America, Memoir 67. New York.

- Wilson, R. A. (ed.) 1999. Species. New Interdisciplinary Essays. Mass. Inst. Tech., Mass., U. S. A.
- Woesik, R. V. 1995. Coral Communities at High Latitude are not Pseudopopulations: Evidence of Spawning at 32°N, Japan. *Coral Reefs*, 14.
- Wolanski, E. (ed.) 2001. Oceanographic Processes of Coral Reefs. Physical and Biological Links in the Great Barrier Reef. CRC Press. London & Washington, D. C., U. S. A.
- Wood, E., and M. Aw. 2002. Reef Fishes, Corals and Invertebrates of the South China Sea including Thailand, Hong Kong, China, Malaysia, Taiwan, Singapore and the Philippines. Reproduction by Age
Repro House, Hong Kong (Printed & Bonded Singapore, Kyodo Printing Co.)
- Wood, R. 1999. Reef Evolution. Oxford University Press.
- Wright, R. T., and B. J. Nebel. 2002. Environmental Science toward a Sustainable Future, 8th ed. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, U. S. A.
- Yamano, H., K. Hori, M. Yamaguchi, O. Yamagawa and A. Ohmura. 2001. Highest-latitude Coral Reef at Iki Island, Japan. *Coral Reefs*, v. 20.
- 山里 清. 1991. サンゴの生物学. UP Biology. 東京大学出版会.
- 横塚真己人. 2002. いりおもて—海と森と人と山猫. 小学館.
- 米倉伸之編著. 2000. 環太平洋の自然史. 古今書院.