



Title	サンゴ礁と地球環境変動
Author(s)	渡邊, 剛
Citation	平成20年度北海道大学公開講座持続可能な社会と北海道発見：地球環境と私たちの暮らし. pp.37-41.
Issue Date	2008-07-28
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/34616
Type	other
Note	平成20年度北海道大学公開講座 持続可能な社会と北海道発見 地球環境と私たちの暮らし . 平成20年7月3日～平成20年7月31日 . 札幌市
File Information	47-A8.pdf



[Instructions for use](#)

渡 邊 剛

渡 邊 剛（わたなべ つよし）北海道大学講師（理学研究院）

平成6年北海道大学理学部卒業、平成8年同大学大学院地球環境科学研究科修士課程修了、平成11年同研究科博士後期課程修了。日本学術振興会特別研究員、オーストラリア国立大学客員研究員、東京大学産学官連携研究員、フランス国立科学研究所博士研究員を経て、平成16年より現職。専門は、炭酸塩地球化学、サンゴ礁地球環境学で、生物源炭酸塩による地球表層環境変動の研究、特に、熱帯、亜熱帯域に生息する生物の骨格を用いた高解像度環境解析、生物硬化作用の解明に取り組んでいる。博士（地球環境科学）。

1. はじめに

サンゴ礁には“海の熱帯雨林”や“海のオアシス、海のゆりかご”といわれるほどの多種多様な生物が生息している。貧栄養海域のサンゴ礁域においてその豊富な生態系を支えているのは造礁性サンゴやシャコガイなど炭酸カルシウムでできた堅い殻を作る生物たちが作り出す複雑な三次元構造であり、サンゴとその体内に生息する褐虫藻が織りなすユニークな共生システムである。造礁性サンゴは長い月日をかけてサンゴ礁という地形を形成するが、それらの骨格には生息時の様々なイベントや環境変動が記録されており、生物地球化学的性質を詳細に調べることで地球表層環境変動の履歴を詳細に復元することができる。サンゴ礁の多くが分布する熱帯域、亜熱帯域は、エルニーニョ現象などに代表されるように、大気海洋の相互作用が地球規模の気候変動に大きな影響を与えうる“駆動部”の役割があり、同時に白化現象や海面上昇など温暖化による被害を受けやすい場所でもある。今回は、近年危惧されている地球温暖化やそれに伴う海洋酸性化などによる環境ストレス、土地開発などによる土砂の流入や富栄養化、海洋汚染などの人為的ストレスなどサンゴ礁が現在直面している問題に対して、そこに棲む生物がどのように応答しているのか、また、過去から現在において、サンゴの骨格にはどのような形で地球の歴史が刻まれているのかについて議論する。

2. 産業革命以前と以降の地球環境変動

人類は、産業革命以降、飛躍的な技術革新とともに地球上のあらゆる場所で繁栄し続けてきたが、一方で、その人類活動の影響は、地球規模の温暖化、環境汚染など、我々が棲む地球という生活の場自体に深刻な危機をもたらしている。人類が繁栄した数百万年前から現在までの時代は、地質時代区分では第四紀と呼ばれる時代であり、それ以前の温暖な気候からの寒冷化と氷期間氷期を繰り返す気候変動に特徴づけられる。その厳しい気候変動に伴って人類も進化を遂げてきた。しかし、近年、特に産業革命以降の人類の飛躍的な繁栄は、地球温暖化や環境汚染など人間活動が気候変動に影響を与える時代へと変換させた。中世温暖期（Medieval Warm Period）と呼ばれる温暖な気候が9世紀から13世紀まで続いた後、14世紀から19世紀において、ヨーロッパやグリーンランド、ロシア、北アメリカ

などの広範囲に渡って寒冷な気候であったことが、モレーンなどの氷河地形や、歴史文書などから知られている。これは再び氷河の活動が始まったものとして小氷期（Little Ice Age）と呼ばれている。この小氷期の寒冷化を起こしたメカニズムは1700年代のマウンダー極小期などに見られる太陽活動の低下による外的要因によるものとする説や、活発化した火山活動により大気中に放出された火山灰が日射量を低下させたとする地球内部の要因とする説などがあるが未だよくわかっていない。では、小氷期を終わらせ現在の温暖化に向かわせた要因は何なのだろうか？人間活動によるものなのか、地球の気候システムに内在している地球内部によるものなのか、或いは、外部からの要因であるのかは依然明らかになっておらず、これらの疑問を解決することは現在の地球温暖化を説明するためにも重要な鍵となっている。

18世紀後半に起った産業革命は、急激な技術の進歩と共に人類にこれまでにない繁栄をもたらすこととなった。それとともに石炭や石油などの化石燃料が大量に消費されるになり、これまでの生物が地質時代の長い時間を使って地球に貯蔵してきた膨大な炭素を二酸化炭素として、再び、しかも非常に短期間に大気中に放出する結果となった。この二酸化炭素は、メタンガスやフロンガスなどと共に温暖化効果ガスと呼ばれ、現在危惧されている地球温暖化の主要な原因であるとされている。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）や京都議定書などに代表されるように地球規模の温暖化が騒がれており、世界各地の観察記録は、年気温平均が過去100年間で0.6℃上昇していることを示している。この地球温暖化のどの程度が人類活動の影響によるものであるのか、また、将来の温暖化はいつどのようにならぬのかを見積もり地球の近未来像を思い描くことは、我々人類にとって極めて重要かつ急を要する課題であり、現在、世界中の様々な分野の研究者が取り組んでいる。そして、サンゴ礁に棲む生物はこれらの問題をひも解く重要なヒントを与えてくれる。

3. 造礁性サンゴと日本のサンゴ礁

サンゴ礁を形成している造礁性サンゴは、イシサンゴと呼ばれる腔腸動物だが、体内に褐虫藻と呼ばれる共生藻類がいて栄養分を分けてもらっているために、1年に1cm以上もの速度でアラレ石と呼ばれる炭酸カルシウムの結晶からなる骨格を成長させることができる。造礁性サンゴの多くは単体サンゴが集まって大きな群体を形成し、その群体はさらに数百年間に渡って成長を続ける。サンゴによる一番始めの石灰化（骨格形成）は、1匹のサンゴ幼生が岩盤などの安定した基盤に着底し、サンゴ虫に変態し、その基底部に骨格を生じることから始まる。この最初の1匹のサンゴ虫が無性生殖を繰り返し、群体を形成していく。造礁性サンゴの多くは、いくつものサンゴ個虫（polyp）が集まった群体（colony）の形をとり、長期間に渡って成長を続ける。サンゴ個虫が収納されている骨格、すなわちサンゴ個体（corallite）は、夾壁（thecal wall）、軸柱（columella）、

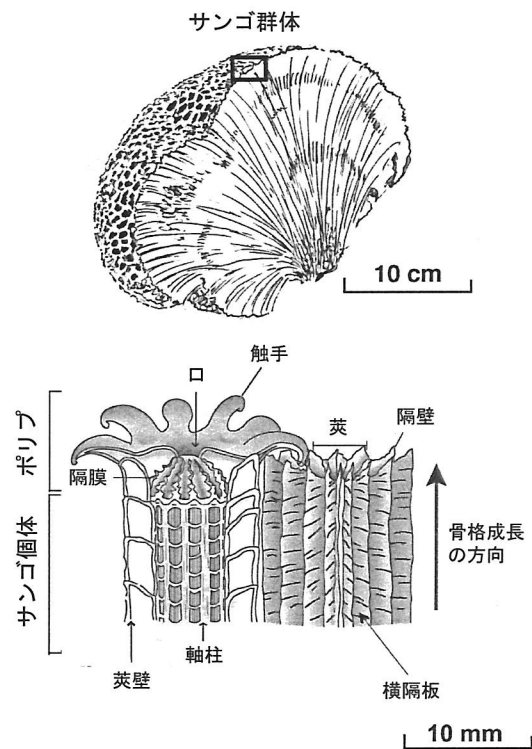


図1 サンゴ骨格の基本構成

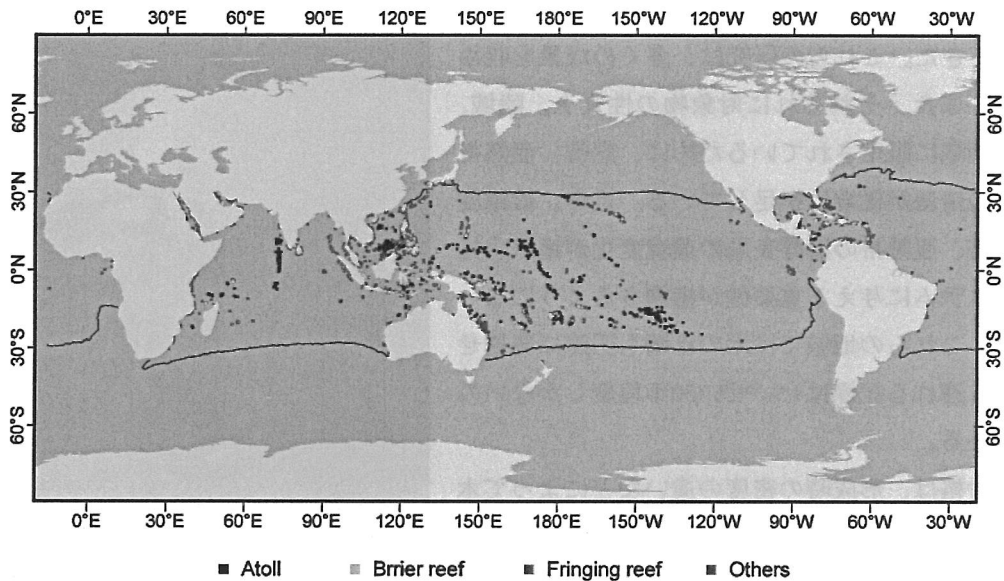


図2 サンゴ礁及び造礁性サンゴ群落の分布
(ReefBase ; <http://www.reefbase.org>に基づいて作成)

隔壁 (septa)、横隔板 (dissepiment) からなる基本構造を持っている (図1)。サンゴ個虫の各骨格組織の形状及び発達様式は、それぞれのサンゴ種により異なるが、個虫壁と軸柱は群体の成長方向に平行に、つまり時間軸に沿って形成されていく。一方、他の組織、たとえば横隔板は個体を肥厚させる方向 (時間軸に対し垂直) に成長し、隔壁は莢壁の形状に従って成長軸 (時間軸) に対して斜めに伸長する。これらの造礁性サンゴの骨格の形成の積み重ねはやがて長い年月をかけて海面際までの高まりを作り、サンゴ礁と呼ばれる外洋からの波浪を防ぐ地形を形成するまでに至る。

サンゴ礁の地形は、大きく三つに分けられ、それぞれ、陸地に隣接するように形成される裾礁 (Fringing reef)、陸との間に礁湖 (Lagoon) と呼ばれる水深の深い地形を持つ堡礁 (Barrier reef)、礁湖を持ち同心円上にサンゴ礁が連なる環礁 (Atoll) と呼ばれている。日本は、サンゴ礁地形、造礁性サンゴ群落ともに世界最北端に位置しており、南は、熱帯域 (沖ノ鳥島) や亜熱帯域 (沖縄) から、温帯域に位置する四国、本州沿岸に至るまでの幅広い気候区分、環境条件にサンゴ礁地形が発達し、造礁性サンゴが生息している (図2)。このように、非常に幅広い環境条件に存在している日本のサンゴ礁は、様々な環境でのサンゴ礁の形成過程や造礁性サンゴの生物学的特性を明らかにするだけでなく、地球温暖化やそれらに付随して起こる環境変動、河川からの土砂の流入などの人為的な環境ストレスなどの変遷とその影響を見積もる際に極めて有効な場所であると言える。

4. サンゴが記録する過去から現在までの地球環境変動

我々の住む地球をよりよい環境で次世代に残していくために、また、将来の温暖化や地球環境をより正確に予想するためには、現在の地球環境のどの程度が人類活動の影響であるのか、或は、地球の自然変動の一部であるのかを知ることが重要である。少なくとも産業革命以降からの気候変動を知る必要があるが、残念ながら、我々が手にできるこれらの気候記録は多くはない。古くからの実測の観測記録は精々、過去100年間で、これらの多くは古くから文明の発達していただく限られた陸域にしか残っていない。また最近になってはじめられた、人工衛星等による全地球の気温、水温の観測も、過去に遡れるのは20年程度である。これらの観測記録の代わりに、木の年輪、氷床コア、湖底堆積物、

古文書などから、過去の気候を復元しようとする試みが行われてきた。これらの研究は、多くの成果を収めてきたが、また、それぞれに対象物の性質上、陸域、高緯度、極域に限定されているために、熱帯、亜熱帯の海洋域の情報が極端に不足している。近年、低緯度地域の熱帯、亜熱帯の海洋表層の環境変化が地球全体の気候システムに与える重要性が指摘されるようになってきたが、これらの地域では木の年輪も明瞭に発達せず、過去に遡れる記録はせいぜい50年程度しかないのが現状である。

サンゴ骨格は、形成時の密度の違いなどによって木の年輪のような縞構造を形成しながら成長していく。骨格の化学成分を年輪に沿って測定することで、当時の大気海洋環境を週レベルの解像度で数百年間に渡って連続的に復元することができる。我々がサンゴの年輪を用いて行う環境解析の具体的な手順を簡単に説明する。まず、具体的な調査地域を選定する。これは、

衛星画像や航空画像を使ってサンゴ礁の発達していそうな場所を抽出したり、様々な過去の文献、地元の漁業関係者や観光関係者などから得られる情報を元に行う。次は、実際に現地に行って、環境解析に適しているサンゴ群体を探し出す作業である。主に、小型のボートに引いてもらいながら、或は、スキューバダイビング（素潜り）などにより海面を泳いで観察しながら行う。より大型（より長寿）で、順調に生育している群体を探しだした後は、スクーバダイビング等を使った潜水による水中ボーリングによって（図3）、直径5-7cm程度の柱状コアを掘り抜く（表面に開いた穴を同じ径の岩盤等で塞ぐことにより、サンゴ群体はそのまま生育を続けることができる）。こうして得られた柱状コアを実験室に持ち帰り岩石カッターによって薄い平板上に切断したものに、エックス線を照射することによって年輪を観測することができる（図4）。この年輪を採取された年から数えることによって、このサンゴ群体が何年間生存し続けてきたのか、また、コアの先端から深部までのそれぞれの骨格部位が何年に形成されたものであるかが明らかになる。続いて、切断面から成長軸の年代に沿ってごく少量ずつ削っていき粉末試料を採取する。このようにして得られた時系列毎の炭酸カルシウムの粉末は、酸素や炭素の同位体比、ストロンチウムなどの骨格の中に微量に含まれる同位体や元素を質量分析計や元素分析計等の測定機器によって分析する。それらの結果を年輪を元にした時系列に沿って解釈していくことで群体が生育してきた間の環境変動

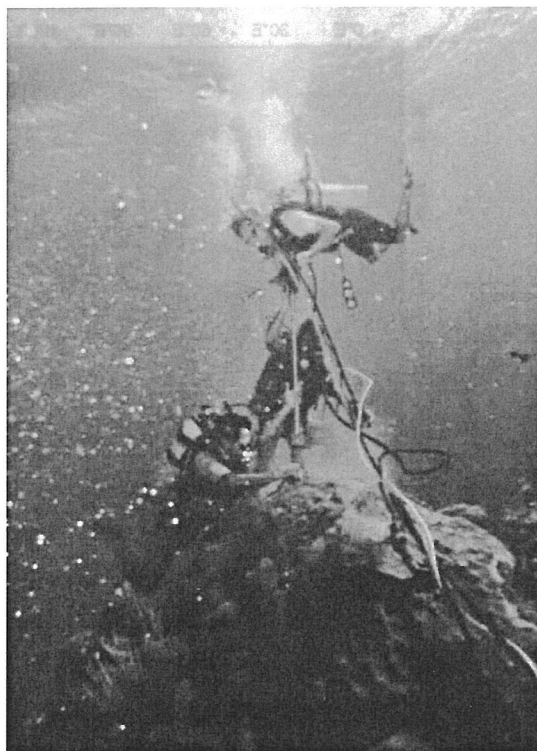


図3 サンゴ骨格の水中ボーリング風景

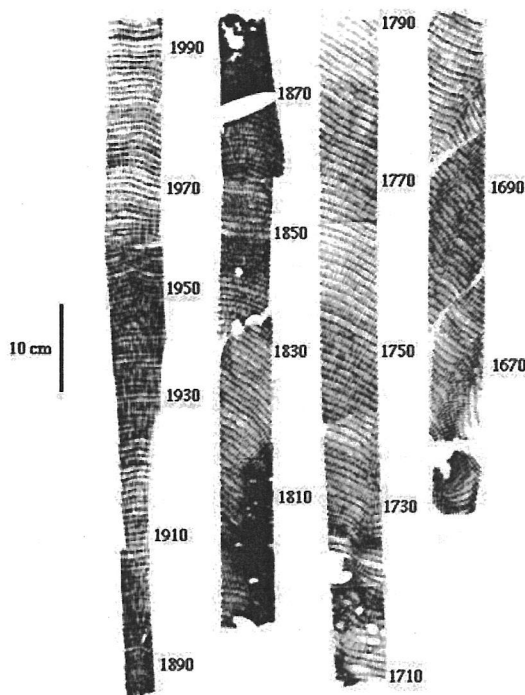


図4 サンゴ骨格のエックス線写真

を定量的に復元することができる。例えば、炭酸カルシウムの酸素同位体比は、形成時の水温と海水の組成によって変化するので、サンゴ骨格の酸素同位体比から当時の水温や降水量を詳細に復元することができる（図5）。また、サンゴ骨格の炭素同位体比には大気中の二酸化炭素濃度の変動や日射量の変動が記録されており、バリウムやマンガンの濃度変化を見ることによって、どのように陸上から河川を経て土砂が流入してきたかが推定できる。これらサンゴ年輪の化学指標の季節変化、経年変化を読み解くことで過去から現在までサンゴ礁域における環境の遷移を様々な時間スケールで復元することができる。現在、我々の研究チームは、日本及び世界中の様々なサンゴ礁から得られるサンゴの年輪を用いて過去から現在までの地球環境の変遷、及び、その影響の評価を行うべく努力しているところである。

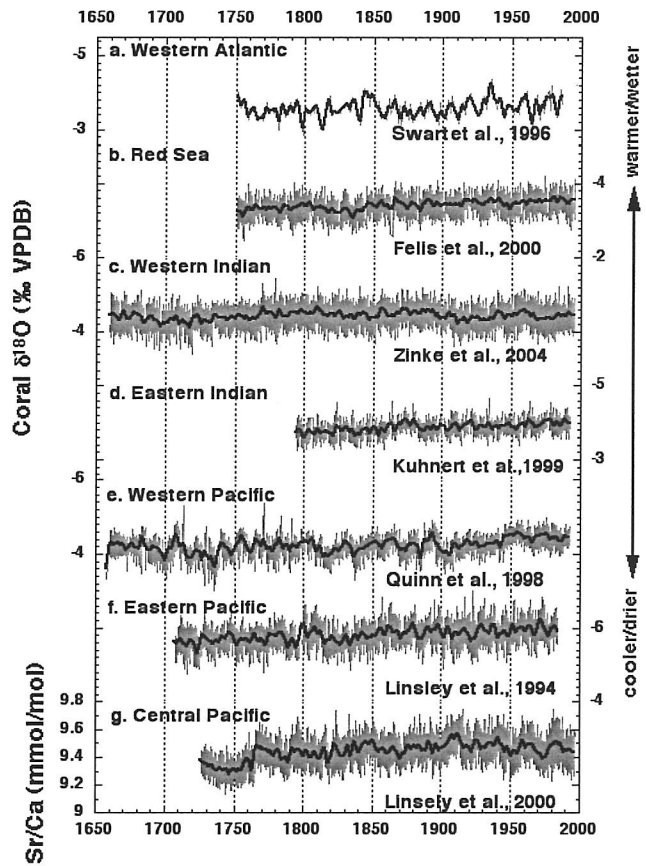


図5 サンゴ骨格年輪を用いた環境解析

参考文献

環境省・日本サンゴ礁学会編「日本のサンゴ礁」環境省、2004年

沢田 健 他編「地球と生命の進化学—新、自然史科学 I」北海道大学出版会、2008年