

遺伝子レベルから見た 環境負荷とサンゴの ストレス応答

大城 洋平・金城 孝一
仲 宗根 一哉・宮城 俊彦
沖縄県衛生環境研究所

Changes in genetic expression of coral due to environmental stress factors

Y. Oshiro・K. Kinjo・K. Nakasone・T. Miyagi

●はじめに

さんご礁は、熱帯・亜熱帯の気候に即した独特な生態系であり、沖縄県において観光産業および漁業等の重要な資源となっている。しかし、近年、さんご礁生態系は、自然的（高水温、食害等）および人為的（赤土や生活廃水等による負荷）な荒廃要因に曝され、衰退が著しく、現在、その保全・再生に向けた取り組みがなされているところである。ところが、現在の保全対策は、サンゴの死亡・組織異常・機能低下等の症状が現れてはじめて環境の悪化に気づくため、方策が限定されている。

さんご礁生態系を維持するためには、環境の変化を早期に察知することが重要である。筆者らは、そ

こに、サンゴの生理生態反応を利用した手法が応用できると考えている。サンゴは環境の変化に対してすばやく忌避行動をとることができないため、様々な生理応答物質を生産することによって環境変化に対応している。そこで、症状が現れる前の生体内で生産されるこのストレス応答物質を確認することによって環境を診断しようというのである。それにより、従来の目視観察に比べてより早く環境の変化に気づくことができ、有効な対策を講じることができると期待される。

●サンゴのストレス応答と評価法

サンゴを用いた多くの室内実験等の報告によれば、

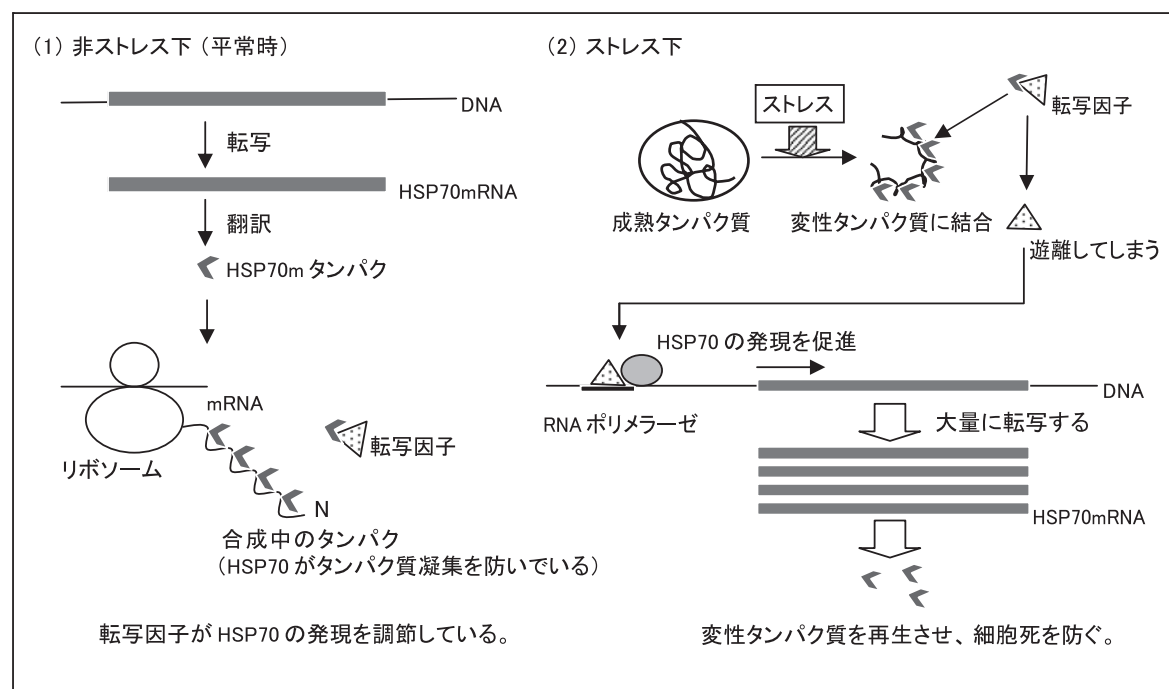


図1 HSP70の発現のしくみ

サンゴは赤土等の微粒子による懸濁や堆積、高水温や高濃度の栄養塩、強光（紫外線）、農薬等の環境ストレスに対して、白化現象、光合成・呼吸能の低下、骨格の成長形変等、様々な生理生態反応を示すことが知られている。しかし、海域環境では種々の環境因子がサンゴや他の生物に対して複合的に作用することから、どのような環境因子が、あるいはどのような環境因子の組み合わせがサンゴの生理生態反応に強く作用しているのかという複雑な問題に直面することになる。また、時系列で見たとき、程度の差はあれ環境傾度は変化するから、過去のイベント的あるいは累積的な影響と現在の環境傾度の影響をどのように評価するのかということも考えなければならない。従って、現存するサンゴあるいはサンゴ群集が衰退、維持、回復のどのベクトル上にあるのかを理解するには長期的なモニタリングに頼らざるを得ない。

では、現存するサンゴの健康度を目安にサンゴ生息環境の好適条件を見出すことは可能だろうか。これまでサンゴの健康度の指標として、サンゴの成長状況を示すサンゴ成長率やサンゴの栄養状態を示す共生藻密度、光合成活性、核酸比等が提唱されてきた。しかし、これらの指標に基づいたサンゴ生育の好適環境条件に関する明確な提示は報告されていない。

ところで、近年では、遺伝子レベルでの研究も広く展開しつつあり、サンゴのストレス応答に関わる遺伝子の発現等の新たな知見が得られている。さらに、発現している遺伝子の種類を調べることでサンゴが受けているストレスの種類を判別できる可能性が示唆されている。今後の研究の進展により、サンゴのストレス応答反応に基づいて、水温、水質、食害生物などの物理的・化学的・生物的影響を定量的に明らかにすることが可能となり、サンゴが健康な状態で生息できる好適環境条件の指標を得ることが期待できる。将来的にはさんご礁のモニタリングを行う際に、サンゴの健康診断の項目として利用し、数値結果を保全対策へ反映できると考えている。

●ストレス遺伝子の確認

橋本らが、ハナヤサイサンゴ *Pocillopora damicornis* が赤土等懸濁物による負荷（以下、赤土ストレス）によってHSP70様mRNA（HSP70=ヒートショックプロテインheat shock protein 70、mRNA=メッセンジャーRNA/遺伝子情報）を顕著に増加させることを確認した報告例（Hashimoto et al 2004）は、サンゴのストレス応答機構を解明する上で非常に期待できる成果である。

HSPは、バクテリアからヒトまでのすべての生物に共通するタンパク質ファミリーである。そのファミリーのひとつであるHSP70は、非ストレス下（平常時）では、タンパク質の生合成時にタンパク質が凝集しないように保護する役割を担い、ストレス状況下では、ストレスに伴い増加した変性タンパク質を再生する役割を果たし、細胞死を防いでいる（図1）。HSP70は、一般的に、高温ストレスにおいて発現するタンパク質で知られているが、上述のとおり赤土ストレスにおいても発現することが確認されていることから他の環境負荷因子においても発現されることが期待される。

●沖縄県衛生環境研究所の取り組み

沖縄県衛生環境研究所では、栄養塩類等の水質調査、SPSS（底質中懸濁物質含量）等の底質調査、サンゴ

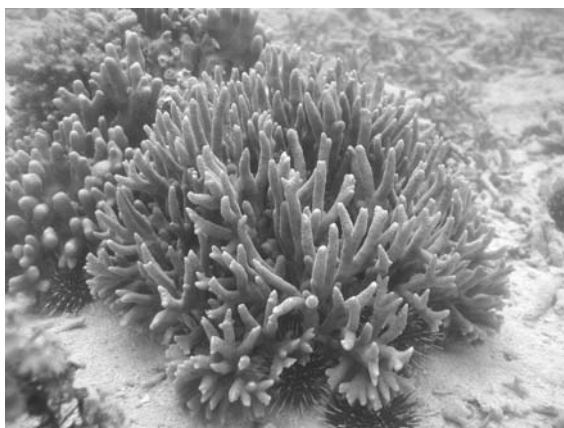


図2 枝状コモンサンゴ

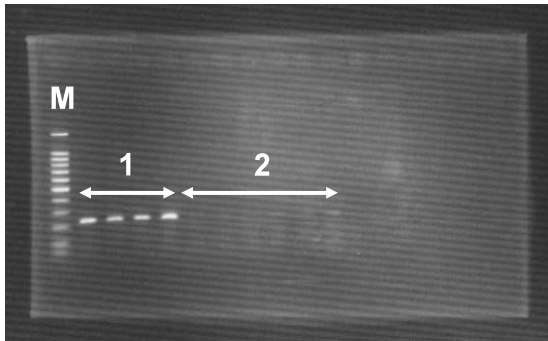


図3 枝状コモンサンゴのHSP70様mRNA応答例
M: 100bp毎のmRNAのサイズ(大きさ)、1. 瀬底産サンゴ、
2. 阿嘉島産サンゴ

被度調査などの調査に加え、さんご礁海域の新たな環境評価法を開発するために、橋本らの手法を参考に、サンゴ自身のストレス応答を利用した手法についての基礎調査を推進している。

現在、その取り組みとして、試験方法の確立をはじめ、水槽内での負荷物質(ストレス因子)のサンゴへの影響試験(室内試験)、さんご礁海域の環境調査等を行っている。対象サンゴは、枝状コモンサンゴ *Montipora* sp.を用いている(図2)。枝状コモンサンゴを選定した理由は、陸域から流入する負荷物質の多いさんご礁の礁池内の浅瀬に比較的広範囲に分布しているサンゴを材料として用いる必要があるからである。現在のところ、枝状コモンサンゴの赤土ストレスについて、ハナヤサイサンゴで確認されたHSP70様mRNAと同等と考えられる物質の応答が確認できている。

●環境中のHSP70様mRNA 応答例

さんご礁海域中にある様々な環境因子の負荷程度が、HSP70様mRNAの増加量で表されることを利用した環境調査例について紹介する。調査海域において、調査するサンゴから長さ約5mmの小片を採取して、現場ですぐにISOGEN(フェノール製剤)で固定し、Hashimoto et al. (2004)の手法にならって分析を行いHSP70様mRNAの増加量を確認した。図3に沖縄本島瀬底海域と慶良間列島阿嘉島海域での結果を示す。瀬底産サンゴの方がHSP70様mRNAのバンド

が濃く、阿嘉島産に比べてより多くHSP70様mRNAを増加させているのがわかる。しかし、HSP70様mRNAは高温ストレスや赤土ストレスなど種々の環境因子に応答するため、図3の結果からストレス因子を判別することは難しい。また、試験操作においても検討すべき事項があるため、今後、更なる実験を行い、精度の向上とストレス因子の判定に努める予定である。

●環境診断方法の開発へ向けて

今回の実験でも、サンゴが環境中の負荷物質等によってHSP70様mRNAの増加という応答を示すことが確認されたことから、遺伝子発現を用いた環境診断方法によって海域下の環境状態を早期に把握できる可能性が示唆された。

サンゴは、種々のストレス因子に応答して様々な遺伝子等の発現を示すことが予想されるため、今後、ストレス因子ごとに応答する物質の解明およびその物質のストレス程度に対応した発現量を把握していきたい。それにより、複合的なストレス下にある野外において、ストレスの種類の特定・判別、程度の把握に役立てることができると考えている。

●謝辞

本調査を遂行するにあたって、橋本和正氏(農林水産省)、渡邊俊樹准教授(東京大学海洋研究所)、阿嘉島臨海研究所の方々に心より感謝申し上げます。

本調査は、亜熱帯島嶼域における統合的沿岸・流域・森林管理に関する研究の一部である。

●引用文献

Hashimoto K, Shibuno T, Murayama-Kayano E, Tanaka H, Kayano T (2004) Isolation and characterization of stress-responsive genes from the scleractinian coral *Pocillopora damicornis*. *Coral Reefs* 23: 485-491