

4 - 8 サンゴの白化

(1) 白化の原因

サンゴから褐虫藻が抜け出て群体が白くなる（黄白色に見えることも多い）ことをサンゴの白化現象と言う。1998 年夏に世界各地で発生した造礁サンゴ群集の白化現象は、琉球列島全域でも猛威をふるった。石西礁湖においても 1994 年の夏の白化以来 4 年ぶりに大規模な白化現象が生じ、広範囲にわたってサンゴ群体の死滅が確認された。

サンゴの白化が発生する原因としては、水温上昇、水温下降、強い紫外線の照射、低塩分、バクテリアによる感染が引き金になっていると報告されている。

このうち 1998 年に発生した大規模なサンゴの白化は、水温の上昇が引き金となっているものと考えられている。西濱・阿部（1999）によれば、7月20日から8月2日の海水温を NOAA の衛星画像で調べたところ 1997 年では表面水温が 27.4-30.6 だったが、1998 年では 29.6-33.8 と高かったことを報告している。

(2) 石西礁湖における海水温の上昇

この水温上昇の原因は地球規模で徐々に進んでいる温暖化が影響しているものと考えられている。

石垣港に観測点をもつ海水温の長期定点観測データから、1971 年から 2000 年までの海水温の変動を見ると、海水温はわずかながら上昇の傾向にあることが解る（図 4-8-2）。

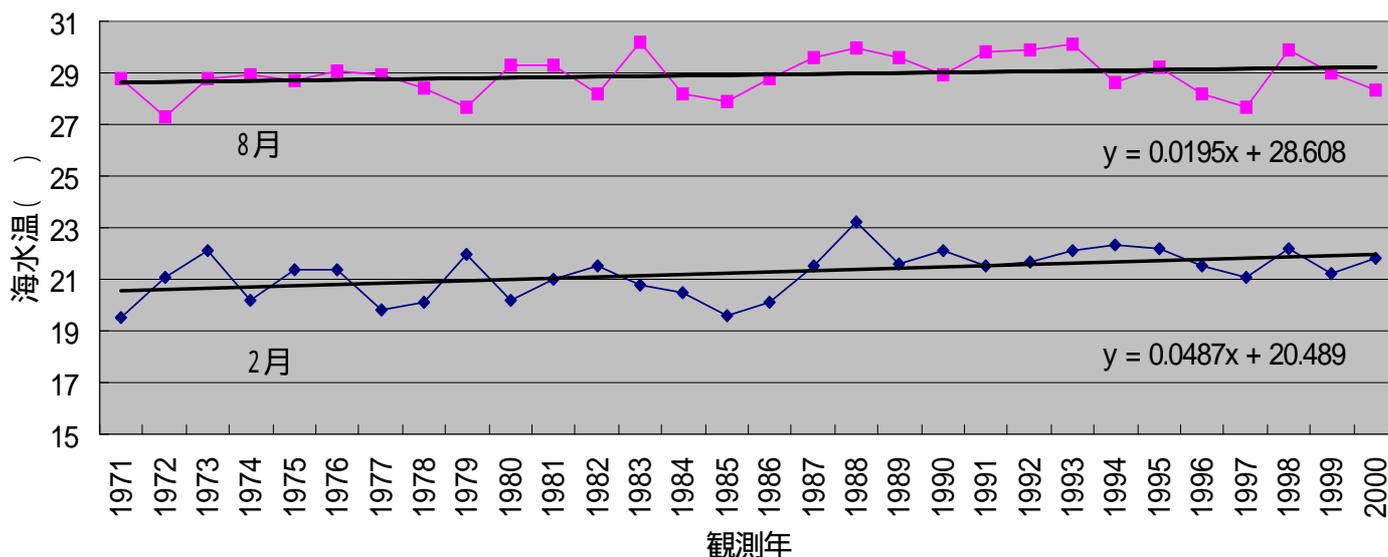
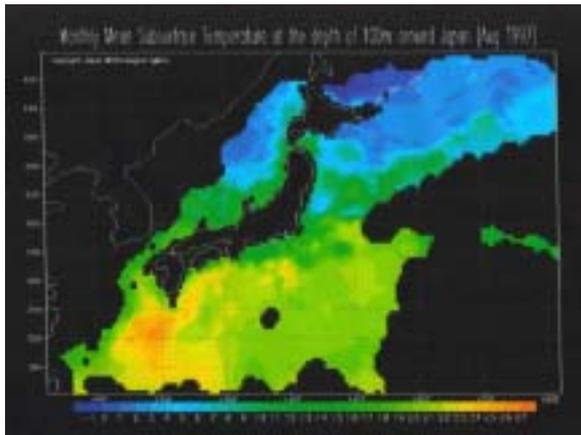
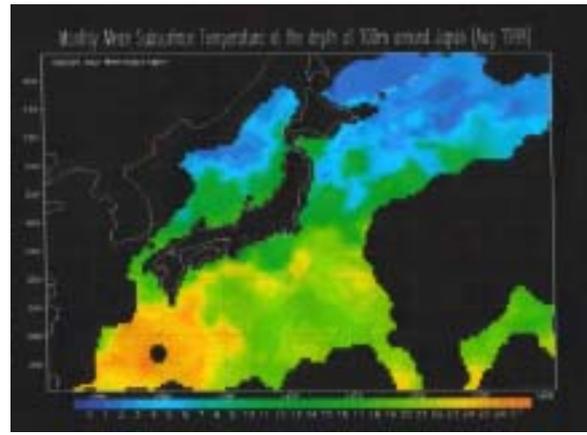


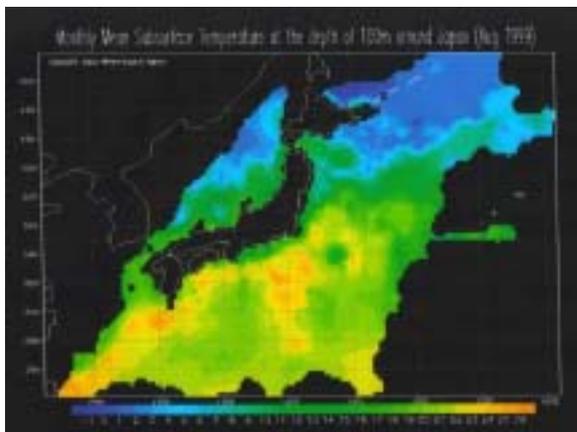
図 4-8-1 石垣港における海水温の変化
(気象庁海況統計資料より作図)



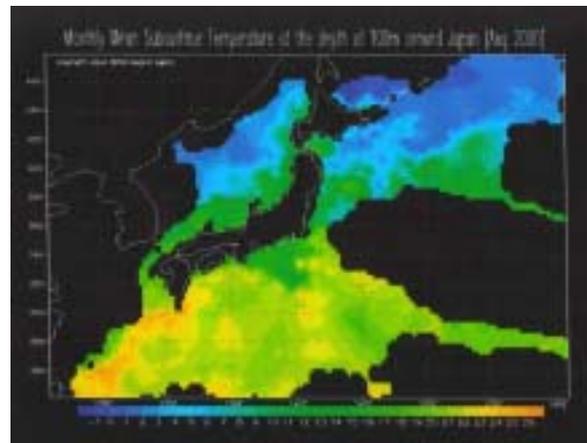
1997年8月



1998年8月



1999年8月



2000年8月

図 4-8-2 日本近海における8月の表層海水温(100m深)の違い
(気象庁海況統計資料より引用)

(3) サンゴ礁の白化による他の生物相への影響

澁野ら(1999)によれば、1998年に発生した大規模な白化の前後で魚類相を調べた結果、リーフ礁原部では、藻類食性魚類、特にニザダイ類2種の個体数の著しい増加が見られた。出現した魚類の個体数には白化前後で変化は無かったが、白化後に出現種数が減少し、サンゴ・ポリプ食性魚類と雑食性魚類の個体数が減少し、かわって藻類食性魚類の個体数が増える現象が確認されている。

(4) サンゴ礁の白化に関する研究報告

サンゴ礁の白化に関する知見を環境庁(2000)を参考にまとめた。

この報告書は白化現象に関する既存研究を整理し、日本における白化現象の概況を把握することを目的とし、同時に西表国立公園を中心とする八重山諸島における造礁サンゴ白化の実態調査も実施されている。

1) 造礁サンゴの白化現象(日高道雄)

白化とは、造礁サンゴが環境ストレスにより褐虫藻を失い、透明なサンゴ組織を通し白い骨格が透けて見え、白くなる現象である。白化を起こす要因としては、高温・低温、強光、紫外線、低塩分濃度があげられる。また地中海のサンゴでは、細菌の感染により白化が引き起こされた例がある。サンゴ内の褐虫藻密度が減少する原因としては、宿主による排出・消化、褐虫藻の自己変性があげられる。

褐虫藻の光合成は 32 から低下し始め、36 ではほとんど停止する。この温度依存性により、サンゴが光合成産物を与えなくなった褐虫藻を消化または排出し、白化するという説が有力である。高温ストレスにさらされると、褐虫藻の光合成は低下し、光阻害を受けた状態になる。熱や蛍光として消散しきれない光エネルギーは、活性酸素を作り出し、この活性酸素が様々な障害を引き起こし、サンゴと褐虫藻の共生関係を破綻させると考えられる。褐虫藻は遺伝子型の違い(別種と考えてよい)によってストレス耐性が異なると考えられている。つまりどのタイプの褐虫藻と共生するかによって、サンゴの白化のしやすさが異なると考えられる。また複数の褐虫藻を共生させているサンゴでは、いくつかの褐虫藻がストレスによって消失しても、他のタイプの褐虫藻が残存することによって、白化しにくくなると考えられる。このようなサンゴでは白化しても、残存している褐虫藻が増殖することによって、回復する可能性も高いと考えられる。

一方で富栄養化と高温ストレスの相乗効果によってサンゴの白化が引き起こされるという説もある。水質の悪化がサンゴの健康状態を悪化させ、サンゴのストレス感受性を高め、普通なら乗り越えられるような環境ストレスでも白化してしまったり、白化から回復できなくなったりする可能性も考えられる。

2) 過去の白化現象(土屋誠)

・サンゴ礁の白化現象：その生態学的考察(P.W.Glynn)

サンゴ礁における白化現象について憂慮すべきは、サンゴ礁の形成にあたり重要な役割を果たす多くの六放サンゴ類とヒドロ虫網に属するサンゴ類が白化しているという点である。1979年から1990年に発生した60件あまりの白化現象の報告は、その頻度においても、多数のサンゴ礁地域において同時に起こったという点においても、また幾つかの地域では95%

以上の高い死亡率を示しているという点においても、過去に前例のないものである。この大規模な白化現象は、地球規模の環境変化（温室効果、紫外線放射量の増加、生態系の治癒能力の悪化、もしくはそれらの幾つかの組み合わせ）によって説明しようとしても、納得のいく原因を発見できずにいる。

大規模なサンゴ礁の白化現象が、ある特定の原因によるものであると断定するには a) 白化現象が意味するものを評価するための基準、b) 白化現象が起こっている時の特徴を明確にするために、比較するのに必要な持続的で、長期にわたる連続的な環境状態の基本的な資料が必要であるが、これらが欠落している。白化から生き残ったサンゴ礁生物群集に対してどのような影響が出るか、また白化現象が長期にわたって、生物間の競争、捕食 - 被食関係、共生、生物侵食、基質の状態、あるいはサンゴの定着とサンゴ礁の回復に関与すると考えられるすべての要因に対して、どのように関わっているのか十分に検討されなければならない。

20 世紀中期から後期までに予想された水温上昇の割合、つまりサンゴが生息している高緯度地方の海での 2 の水温上昇に対し、サンゴは生理学的に、また遺伝学的にも適応することは不可能である。

・サンゴの白化現象：原因と結果（B.E.Brown）

大規模なサンゴの白化現象が初めて報告されてから、すでに 10 年以上が経過した。ほとんどの白化現象は、水温の上昇に起因すると考えられるが、強い太陽光の照射、あるいは病気など他の要因も報告されている。タイ国プケット島、フランス領ポリネシアノタヒチ島の長期的な観測資料からは、くり返して起こる白化現象は、徐々に上昇している海水温度を背景としていることを示唆し、将来サンゴがより危険な環境にさらされると予想される。白化に関する細胞レベルでのメカニズムは、自然状態での褐虫藻の衰退、隔膜糸からの放出、あるいは内胚葉から剥離し始めていく、宿主細胞内の藻類の放出など様々な過程がある。褐虫藻での光防御（特にカロチノイド色素）は、野外においておそらく温度上昇と太陽光の照射が複合された影響として起こる白化現象を、制御するのに重要な役割を果たしていると考えられる。再発する白化に対するサンゴの適応能力は明らかにされていないが、サンゴと褐虫藻の両方の表現型を持つ個体群の反応が重要であろう。

・グレートバリアリーフにおける大規模な白化現象（R.Berkelmans, J.K.Oliver）

1998 年初頭、グレートバリアリーフ（以下、G.B.R）において、最も激しく、広範囲なサンゴの白化現象が発生した。軽度の白化は 1 月の下旬から観察されるようになり、1998 年の 2 月下旬、もしくは 3 月上旬に勢力を増した。1998 年の 3 月と 4 月、654 カ所のサンゴ礁（G.B.R の 23% のサンゴ礁）で行われた大規模な空中観測調査では、沿岸サンゴ礁の 87% が沖合の 28% のサンゴ礁に比べると、少なくともいっぴきの広がり（サンゴ被度の 1% 以上）をもって白化していた。沿岸サンゴ礁のうち 67% が高水準の白化（サンゴの 10% 以

上が白化)にさらされており、25%は非常に厳しい白化の状態(サンゴの60%以上)にあった。少数の沖合サンゴ礁(14%)では高水準の白化現象が観察されたが、もっとも厳しい状態の白化は認められなかった。さまざまな程度の白化(0~もっとも厳しい状態)を示した23カ所の、サンゴ礁での潜水による正確な観測調査を、G.B.R.での空中観測調査の資料と比較すると、後者は実際の白化の程度を過小評価しがちであることがわかった。この白化現象の基本的な原因は、海水温と太陽光の放射の上昇、中央G.B.R.の沿岸といくつかの沖合サンゴ礁における、低塩分による悪化などであると予想される。

3) 1998年の白化現象(土屋誠・野村恵一・黒柳賢治・近藤鉄也・吉本稔・本宮信夫)

・日本における白化現象の概況

1998年に起きたサンゴの白化現象は、過去最大と言われ、西日本各地での現象が新聞やテレビなどで報道された。白化によるサンゴの被害は、南西諸島全域及び高知県夜須町にまで広がり、サンゴ白化状況の深刻さが伝えられた。白化現象を伝える記事のほとんどは、海水温の上昇による共生する褐虫藻の離脱が原因であると伝えた。

1998年10月に開催された、日本サンゴ礁学会の第1回大会においては、琉球列島の各地(鹿児島県喜界島、沖縄本島本部半島周辺海域、阿嘉島周辺海域、久高島、石垣島)から現況報告が行われた。特に石垣島の白保、川平では白化前後のサンゴ被度を比較しており、枝状コモンサンゴ、枝状ミドリイシ、塊状ハマサンゴの白化率は40-80%と高く、白化していない生サンゴの被度が25%以下に減少していた。これは白化前の約二分の一である。アオサンゴの白化率は0-20%であった。また石垣島では、他の地域と同様、高水温が白化の原因であるが、さらに梅雨時の二倍近い降雨と、それに伴う赤土の流出といったことが複合的な原因となって、大規模な白化を引き起こした可能性があるとしている。

日本国内の白化現象の実態を把握するため、環境庁が1990年-1992年に実施した第4回自然環境保全基礎調査において、サンゴ群集分布が確認された市町村を対象に、都道府県の自然保護行政担当課を通じてアンケート用紙を郵送し、回答があった市町村についてその結果を集計した。アンケートは1999年5-6月に実施し、97市町村から回答があった。その結果、白化現象は徳島県及び和歌山県の最南端、八丈島にまで及んでいた。白化現象が認められ始めた時期は8月がもっとも多く、次いで7月である。白化現象が見られた最大水深は、徳之島町の38mである。また各市町村から、魚類の減少、夏季の高水温が報告されている。過去における白化現象については、1980年9月の久米島仲里村のものがもっとも古い報告である。その他に、1980年頃の報告としては与論町、沖縄県瀬底島、辺土名、知念での報告がある。

・石西礁湖におけるサンゴの白化及び回復状況調査

この調査は1998年7月以降発生したサンゴの白化現象の実態を把握するために、石西礁湖において1999年4月と秋期に行った調査の報告である。その結果、白化以前と比較して

62%のサンゴ被度の減少が認められた。白化は 低潮線付近の浅い海域、 閉塞性の高い礁池などの海域、 島嶼の北側など夏季の季節風による波浪の影響を受けない海域で、特に被害が大きい傾向があった。また今回の白化現象で大きな被害があったのは、ミドリイシ類を中心としたサンゴ群集であった。赤土の流入に代表される人為的な攪乱と、白化現象によるサンゴの斃死については、今回の調査では明瞭な相関は得られなかった。これは今回の白化現象では、地形的な要因、サンゴの構成種による要因が極めて大きく作用したためであり、人為的な攪乱による要因が相対的に目立たなかったためであると考えられる。白化によるサンゴの斃死が比較的少なかった海域では、赤土による慢性的なストレスを受けている部分で、高水温に対するサンゴの耐性が弱くなっている可能性を示唆する現象が確認されている。

・世界における白化現象

白化現象は 1997 年半ばから 1998 年末にかけて、広範な世界の各地（中東、東アフリカ、インド洋、南アジア、東南アジア、東アジア、極西太平洋、極東太平洋、カリブ海、大西洋）でみられ、それらの多くは大規模なエルニーニョ現象と一致している。激しい白化現象は大規模なサンゴの死滅をもたらし、バーレン、モルディブ、スリランカ、タイ、シンガポール、タンザニア（部分）では浅海域、場所によっては深いところでも 95%近い死亡率を示した。枝状や卓状のミドリイシ属など成長の早い種が特に白化し、死亡率も高かった。ハマサンゴ属など成長の遅い種も白化したが、多くは 1-2 ヶ月で回復した。ほとんどの白化現象は夏季の平年を上回る高水温下で起き、多くの場合強い日射がある。極端な低潮位や洪水のもたらす赤土流出も影響する。紅海、インド洋南部、アングマン海、インドネシアの大部分、GBR の大部分、大部分の中部太平洋、南部及び東部カリブ海では、白化現象はあまり見られなかった。このような場所の中には、過去に激しい白化現象があり回復したところもある。エルニーニョとの関係では東太平洋では相関があるが、東南アジアでは強いラニーニャと一致するし、インド洋とカリブ海の一部では両方と相関がある。

4) 今後の課題

白化を引き起こす要因として、高水温、低水温、強光、紫外線、低塩分、最近などがあげられているが、これらの要因が、どのようなメカニズムで白化を引き起こすかについては不明な点が多いため、今後の研究が望まれる。また今回の白化がどの程度の規模であったかを評価するためにも、群集レベル、地域レベル、広域レベル、のサンゴ群集を、研究者レベル、技術者レベル、市民レベルでモニタリングし、それらの成果が集積され、公開される体制を構築することが必要である。そしてサンゴの死滅が、サンゴ礁の生物多様性や優占種にどのような影響を及ぼすのか、それにより水産業や観光業など社会経済に及ぼす影響についても明らかにし、その期間や規模などを予測することが必要である。

参考文献：

- 土屋誠. 1999. サンゴ礁からの警告 最大規模の白化現象は何を意味するか? . Galaxea, JCRS, 1:27-29-
- 長谷川均ら . 1999. 石垣島における 1998 年のサンゴ礁の広範な白化. Galaxea, JCRS, 1:31-39.
- 西濱士郎・阿部和雄. 1999. 衛星データから見た 1998 年夏の高水温. 西海水研ニュース. 99:6-7.
- 澁野拓郎ら. 1999. 石垣島浦底湾におけるサンゴ白化に伴う魚類相の変化. 水産庁西海区水産研究所 (平成 11 年) 造礁サンゴ群集の白化が海洋生態系に及ぼす影響とその保全に関する緊急調査報告書.
- 環境庁. 2000. 平成 10 年度 造礁サンゴ群集の白化が海洋生態系に及ぼす影響とその保全に関する緊急報告書 .