ISSN　1341-6928

串本海中公園
マリンパビリオン

2018. 4　　特別号　No. 7

2018年冬季に紀伊半島西岸で観察された異常低水温によるサンゴ群集の大量斃死

野村恵一・平林　勲

Marine Pavilion, Supplement No. 7　2018

Mass mortality of coral communities caused by abnormality low water temperature observed at Kii peninsula west coast for winter season in 2018.

Keiichi Nomura & Isao Hirabayashi

2018年冬季に観察された田辺湾沖の島の低水温によるサンゴ被害
左の写真は2017年11月撮影、右は2018年3月撮影．20年以上の歳月をかけて育まれた大型の卓状ミドリイシ類群集は異常低水温によりほぼ消失した．

串本海中公園センター

はじめに

有藻性イシサンゴ類（以下サンゴと呼ぶ）は、異常な水温環境に晒されると体内に共生する褐虫藻密度が低下して白化現象を誘発し、さらには斃死する場合がある（山城, 2016）。紀伊半島南端に位置する串本海域では、冬季の極端な低水温によりサンゴが大量斃死することが観察されている（御前, 1984, 1985; 福田, 1985）。

2018 年冬季においても、串本海域のみならず紀伊半島の広域にわたる大規模な低水温現象に由来するサンゴ被害が観察された。そこで、その被害状況を報告するとともに、今冬の低水温現象について考察を行う。

方法

調査は環境省モニタリングサイト 1000 サンゴ礁調査（環境省生物多様性センター, 2018a）の串本サイト定点を中心に、三重県熊野市二木島町から和歌山県日高郡日高町にかけての紀伊半島沿岸 20 地点（図 1）において、2018 年 3 月に実施した。モニタリングサイト 1000 以外の調査地点は、過去に高密度もしくは特徴的なサンゴ群集の情報が得られている海域から選出した。調査方法は基本的にモニタリングサイト 1000 における標準手法であるスポットチェック法（環境省生物多様性センター, 2018b）に準じたが、密度が高いサンゴ群集域においてはライントランゼクト法も併用し、生存サンゴと斃死サンゴのそれぞれの被度と組成を調べると共に、自由遊泳による目視観察によって種別のサンゴの攪乱状態を観察しまた、目視観察においては、ウニ類（ナガウニ類とシラヒゲウニ）の斃死状況も確認した。

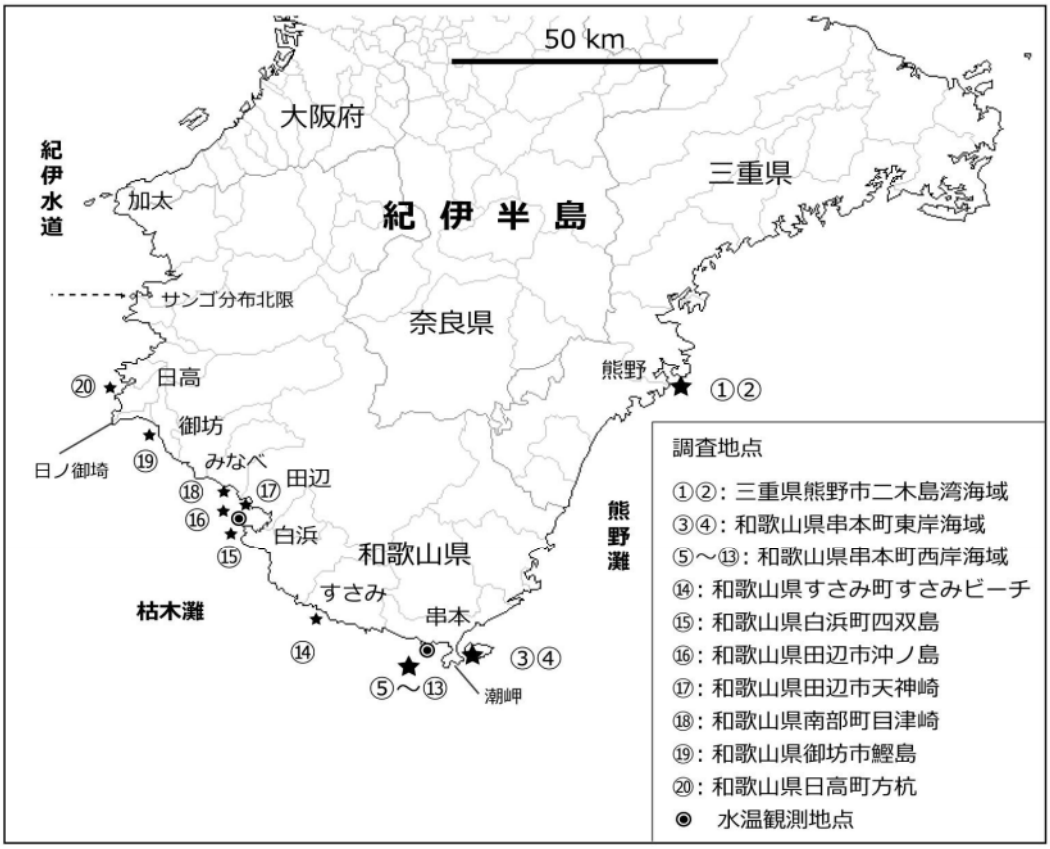

図 1. 調査地点

表1. 調査地点基礎データ

地点番号	海域名	地点名	調査地点の低水温前の概要、履歴等
①	三重 二木島	笹野島 （公園2号地区）	熊野灘二木島海域公園2号地区。温帯域に位置する海域公園地区であるが、エンタクミドリイシやサザナミサンゴ類をはじめとする多様なサンゴの分布が確認されている。水深20m前後はサンゴ被度が比較的高い。
②	三重 二木島	オウジの瀬	二木島湾の湾口に位置し波当たりは良く、水深5m以浅はトゲトサカ類やイボヤギが群生し、水深20m前後には比較的種多様性と被度が高いサンゴが分布。
③	和歌山 串本	通夜島 （公園1号地区）	世界的な希少種で、絶滅危惧種にも指定されているオオナガレハナサンゴの国内最大規模の群生地。2005年にラムサール条約湿地登録、2006年串本海域公園地区に追加指定。
④	和歌山 串本	紀伊大島 内浦	防波堤保護のために設置された投石礁の上に、2000年代初頭から卓状ミドリイシ類群集の形成が始まり、高密度な群落に成長。
⑤	和歌山 串本	住崎	湾奥にはヒラニオウミドリイシの国内北限の群生域があり、湾中央にはクシハダミドリイシを中心とした卓状ミドリイシ類が群生する。2003年秋よりオニヒトデが蔓延し、その攪乱を大きく受けるも駆除によりヒラニオウミドリイシ群落は維持されている。2005年ラムサール条約湿地登録。
⑥	和歌山 串本	ｸﾞﾗｽﾜｰﾙﾄﾞ②	ミドリイシ類はほとんど生息しないものの、サオトメシコロサンゴやベニハマサンゴ等、特異なサンゴ類が群生する海域で、サンゴ類の種多様性や被度も高い。2005年ラムサール条約湿地登録。
⑦	和歌山 串本	砥崎	かつては町内屈指のクシハダミドリイシ群生域であったが、1984年の異常低水温時にほぼ壊滅状態に至る。その後、徐々に再生を見せるも、2000年代初頭に発生したヒメシロレイシガイダマシの被害に遭い、再び壊滅状態に至る。2010年以降は急速に回復が進み景観が戻る。2005年にラムサール条約湿地登録。
⑧	和歌山 串本	高富湾奥	絶滅危惧種に指定されているエダミドリイシの群生域。本地点のエダミドリイシは台風により著しい減少傾向を示す。本群落に隣接してアマモの町内最大の群落も分布するが衰退が著しい。2005年ラムサール条約湿地登録。
⑨	和歌山 串本	高富 （公園1号地区）	串本海域公園1号地区。かつては町内最大規模の高密度なクシハダミドリイシが群生していたが、感染症の被害を受けて壊滅状態に至り、その後長期間にわたり荒廃状態が続く。2005年ラムサール条約湿地登録。
⑩	和歌山 串本	錆浦 （公園2号地区）	串本海域公園2号地区。クシハダミドリイシの群生域。ビーチエントリーによるダイバーに利用される。2005年ラムサール条約湿地登録。

表1. 調査地点基礎データ(続き)

地点番号	海域名	地点名	調査地点の低水温前の概要、履歴等
⑪	和歌山 串本	ヨボシ (公園3号地区)	串本海域公園3号地区。特徴的なサンゴ群集は見られないが、ダイナミックな海中景観を有し、また、大型魚類が多い。2005年ラムサール条約湿地登録。
⑫	和歌山 串本	展望塔前	串本海中公園海中展望塔の面前に位置し、海域公園2号地区にも隣接する。新参種であるスギノキミドリイシの著しい消長が観察されている。2005年ラムサール条約湿地登録。
⑬	和歌山 串本	有田湾奥	典型的な本土内湾性サンゴ群集の群生域。港湾整備に伴う海水の閉塞化と、近年は河川からの濁水の影響を強く受け、サンゴ群集は大きく衰退している。2005年ラムサール条約湿地登録。
⑭	和歌山 すさみ	すさみビーチ	防波堤のすぐ脇に造成されたイセエビ投石礁上に高密度な卓状ミドリイシ類群集が形成されている。直径2mを越える大型群体が散見されることから、この群集は1990年代から形成が始まったものと推察される。2015年に吉野熊野国立公園に編入、ならびに枯木灘すさみ海域公園地区に指定。
⑮	和歌山 白浜	四双島南	1990年代以降に形成された高密度な卓状ミドリイシ類の群生域。特に水深5m前後の浅所にはニホンミドリイシが優占する。2015年に吉野熊野国立公園地区に編入、ならびに田辺白浜海域公園に指定。
⑯	和歌山 田辺	沖の島	1990年代以降に形成された高密度な卓状ミドリイシ類の群生域。浅所にはニホンミドリイシが、それよりも深所にはクシハダミドリイシがそれぞれ優占する。2015年に吉野熊野国立公園に編入、ならびに田辺白浜海域公園地区に指定。
⑰	和歌山 田辺	天神崎	絶滅危惧種に指定されているエダミドリイシの群生域。本種群落は長期間(少なくとも1980年代初頭以前より分布)にわたって維持されていることが確認されている。2015年吉野熊野国立公園に編入ならびに田辺白浜海域公園地区に指定。
⑱	和歌山 みなべ	目津崎	1980年代まではアラメやホンダワラ類が繁茂する藻場が形成されていたがその後磯焼けし、2010年には新参ミドリイシ類群集の形成が確認される。2015年に吉野熊野国立公園に編入、ならびにみなべ海域公園地区に指定。
⑲	和歌山 御坊	鰹島北岸	2000年の観察では被度は低いながら比較的多様(12種)なサンゴ群集が観察される。また、新規加入したばかりのミドリイシ類の小型群体も散見されている。
⑳	和歌山 日高	方杭ビーチ	絶滅危惧種に指定されているエダミドリイシの県内最大の群生域。本種は水深5-10mの水深帯に長さ100mほどの距離にわたってパッチ状に分布し、密度の高い所では局所的な被度が50%に達する。

結果

各調査地点の低水温前の概要を表 1 に、調査結果を表 2 に示す。今冬のサンゴ斃死現象は紀伊半島の東西で傾向が大きく異なり、東側の地点では全く斃死が観察されない（地点①・②）か軽微（③・④）であったのに対し、西側の地点では何れもサンゴ現存量（被度）の 10 %以上の斃死が認められた。斃死率が高かったのは串本海域の 3 地点（⑦、⑧、⑩）と白浜・田辺海域の 3 地点（⑮、⑯、⑱）で、特に白浜・田辺海域の地点ではサンゴ全体の 8 割以上の斃死が認められた。なお、これら被害が大きかった海域に共通した特徴として、ミドリイシ科ミドリイシ属（特に卓状ミドリイシ類）が高密度で分布する群集構造をなしていたことが挙げられる。また、斃死要因も海域によって異なり、白浜海域以北では全てが直接的な低水温であったのに対し、すさみ海域以南では直接的な低水温に加えて、低水温に伴う顕著な感染症の併発、大潮寒波（2017 年 12 月に大潮干潮・無風・強い寒波が重なって生じたごく浅所に分布するサンゴの凍死現象）、その他（オニヒトデの食害、河川からの泥水の流入）が認められた。

表 3 に低水温によるサンゴの地点別・種別の斃死状況を示す。冬季の直接的な低水温被害はエダミドリイシを除くミドリイシ類に集中したが、3 地点（⑰、⑱、⑲）においてはサザナミサンゴ科の一部の種でも全群体に及ぶ斃死が観察された。

考察

今冬の低水温現象の評価

今冬の低水温現象が過去と比較してどのような位置にあったのか、紀伊半島で長期水温観測が実施されている串本町錆浦と田辺湾のデータを基に評価を行う。錆浦と田辺湾は約50km離れて位置し（図1）、両海域の観測場所はそれぞれ位置の他に地形や水深が異なるため厳密な比較はできないが、錆浦は紀伊半島西岸南部の、田辺湾は紀伊半島西岸中部のそれぞれ水温環境を代表させた。

錆浦では冬季（1−3 月）平均水温の平年値は 16.95 ℃、夏季（7−9 月）平均水温の平年値は 26.43 ℃、年平均水温の平年値は 21.44 ℃、年最低日水温は 13.0 ℃（1984 年）、年最高日水温は 29.6 ℃（2010 年）の、田辺湾では冬季（1−3 月）平均水温の平年値は 16.44 ℃、夏季（7−9 月）平均水温の平年値は 26.71 ℃、年平均水温の平年値は 21.33 ℃、年最低日水温は 10.80 ℃（1984 年）、年最高日水温は 29.95 ℃（2015 年）の観測統計値がそれぞれ得られている。年平均水温と冬季水温は錆浦の方が田辺湾に比べて値が高いが、夏季は田辺湾の方が高い。

図 2 に錆浦と田辺湾の冬季（1−3 月）平均水温の年変化を示す。錆浦では 1972 ～ 2018 年までの過去 46 年間において冬季水温が 15.5 ℃を下回った年が 2018 年を含み 3 回あり、2018 年（15.41 ℃）は過去 3 番目に低かった。最も低い水温が記録された 1984 年（14.92 ℃）は串本西岸海域で低水温によるクシハダミドリイシを主体としたサンゴの大量斃死が記録されており（御前, 1984, 1985; 福田, 1985）、調査を行った凡そ半数の地点でクシハダミドリイシの現存量（被度）の半減が観察された。ただし、過去 2 番目に低い冬季低水温が記録された 1977 年（15.34 ℃）は顕著なサンゴの斃死は観察されていない。このことから、串本では 14 ℃台の水温が 1 ヶ月以上続くとサンゴに白化や斃死が生じ、13 ℃台の期間が 20 日以上続くと大量斃死に至ると推察されている（御前, 1984, 1985）。さて、今冬は 14 ℃台の低水温は長期間続いたものの、13 ℃台の日は 2 回しかない。それにもかかわらず、今冬において 1984 年と同様の大量斃死が起きたのは、大潮寒波や感染症の併発等、1984 年にはみられなかった要因が重なったためであるとみなされる。

一方、田辺湾では 1975 ～ 2018 年までの過去 43 年間において冬季水温が 15.5 ℃を下回った年が 2018 年を含み 10 回もあった。また、14.5 ℃以下になった年が 2018 年（14.49 ℃）と 1984 年（13.74 ℃）の 2 回あり、今冬は 1984 年に次いで過去 2 番目に低かった。

表2. 調査結果

地点番号	白化階級＊	被度（%）	低水温直前の被度（%）	被度差	斃死率（%）	ミドリイシ類斃死率（%）	斃死要因（大まかな比率%）
①	1	10	10	0	0	0	
②	1	20	20	0	0	0	
③	2	5未満	5未満	0	5	5	感染症
④	2	43	45.5	2.5	5	5	感染症(50)・大潮寒波*(50)
⑤	3	39	50	11	22	25	大潮寒波*(20)、低水温(10)、感染症(70)
⑥	3	30	39	9	23	−	低水温(20)、オニヒトデ(80)
⑦	4	28	80	52	65	65	大潮寒波*(20)、低水温(60)、感染症(20)
⑧	4	13	33	20	60	65	大潮寒波*(20)、低水温(60)、感染症(20)
⑨	2	6	11	5	45	50	感染症
⑩	2	28	60	32	53	53	大潮寒波*(70)、低水温(10)、感染症(20)
⑪	2	32	38	6	15	13	大潮寒波*(20)、感染症(80)
⑫	2	20	26	6	23	20	大潮寒波*(70)、低水温(20)、感染症(10)
⑬	4	10	13	3	22	85	泥水の流入(60)、低水温(20)、感染症(20)
⑭	2	59	73	14	20	20	感染症
⑮	4	5	54	49	91	100	低水温

表2. 調査結果（続き）

地点番号	白化階級*	被度（%）	低水温直前の被度（%）	被度差	斃死率（%）	ミドリイシ類斃死率（%）	斃死要因（大まかな比率%）
⑯	4	7	61	54	89	93	低水温
⑰	5	21	30	9	30	20	低水温
⑱	5	6	30	24	80	100	低水温
⑲	5	5未満	5未満	+	50	100	低水温
⑳	3	13	15	2	15	15	低水温

＊　白化階級（大潮寒波や感染症を除く）

1　:サンゴの色の変化を含め低水温の影響は認められない。

2　:色が少し薄くなる。低水温による直接的な斃死はほとんど認められない。

3　:多くは明瞭に白化するが、低水温による直接的な斃死は些少。

4　:明瞭に白化、エダミドリイシを除くミドリイシ類に低水温による直接的な斃死が顕著に認められるが、サザナミサンゴ類の斃死は些少。

5　:明瞭に白化、エダミドリイシを除くミドリイシ類は全て斃死、サザナミサンゴ類の斃死も顕著。

＊　大潮寒波:2017年12月に大潮干潮・無風・強い寒波が重なって生じたごく浅所に分布するサンゴの凍死現象

表3. 低水温によるサンゴとウニ類の斃死状況

種・属名／地点番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳
エダミドリイシ	*							3					3				3			3
スギノキミドリイシ							5	5		4	4		5	4		5				
卓状ミドリイシ類*	1	1	2	2	3		4	4	2	3	2	3	4	2	5	5	5	5	5	5
サオトメシコロサンゴ						5														
オオナガレハナサンゴ			2																	
ハマサンゴ類*	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	4	4		
アバタセンベイサンゴ	1	1								2						3	5	5		
スリバチサンゴ類*	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3	3	
ムカシサンゴ	1	1		1			2	3	2	2	2		3		3	3	5	5		
パリカメノコキクメイシ				2	2		2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	5	5	5	
フカトゲキクメイシ	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	4	4	5	4
キクメイシ	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	4	4	4	3
ゴカクキクメイシ	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	4	4	5	
タカクキクメイシ	1	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	5	5	5	
トゲイボサンゴ	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	5	4	5	3
キッカサンゴ	1	1	1	1	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	3	4		
アツギルリサンゴ	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	3	2	3	3	4	4	4	
ナガウニ類					2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	3	3	3	3		
シラヒゲウニ	1	1	1	1?	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		

サンゴの斃死階級（直接的な低水温によるものに限り、大潮寒波や感染症を要因とするものは除く）

1 ：低水温の影響はほとんど認められない

2 ：色が少し薄くなるが、斃死はほとんど認められない

3 ：明瞭に白化するが、斃死は些少

4 ：明瞭に白化、半数程度の群体が斃死

5 ：明瞭に白化、ほぼ全ての群体が斃死

ウニ類の斃死階級

1 ：斃死はほとんど認められない

2 ：半数程度が斃死

3 ：ほぼ全てが斃死

＊ 空欄は未観察を表す

＊ 卓状ミドリイシ類：エンタクミドリイシ、クシハダミドリイシ、タイハイミドリイシ、ニホンミドリイシ、ミドリイシを含む

*ハマサンゴ類：コブハマサンゴとフタマタハマサンゴを含む

*スリバチサンゴ類：オオスリバチサンゴとスリバチサンゴを含む

*サンゴの種名は野村他（2016）に基づく

表4. 紀伊半島における海域別の今冬の水温比較

海域	紀伊水道(加太)*1			枯木灘中部(田辺湾)*2			枯木灘南部(串本錆浦)*2			熊野灘(串本東)*1		
年	2018年	平年値	平年差	2018年	平年値	平年差	2018年	平年値	平年差	2018年	平年値	平年差
1月	12.2	12.4	−0.2	14.3	16.9	−2.6	15.6	17.4	−1.8	15.5	16.5	−1.0
2月	10.1	10.8	−0.6	13.6	15.9	−2.3	15.2	16.5	−1.4	15.1	15.8	−0.8
3月	11.2	11.4	−0.2	15.5	16.4	−0.9	15.4	16.9	−1.4	15.2	15.9	−0.8
平均	11.2	11.5	−0.3	14.5	16.4	−2.0	15.4	17.0	−1.5	15.3	16.1	−0.8

＊1:和歌山県水産試験場平成30年漁海況速報(30−1～30−15号)より引用
*2:出典は図2を参照

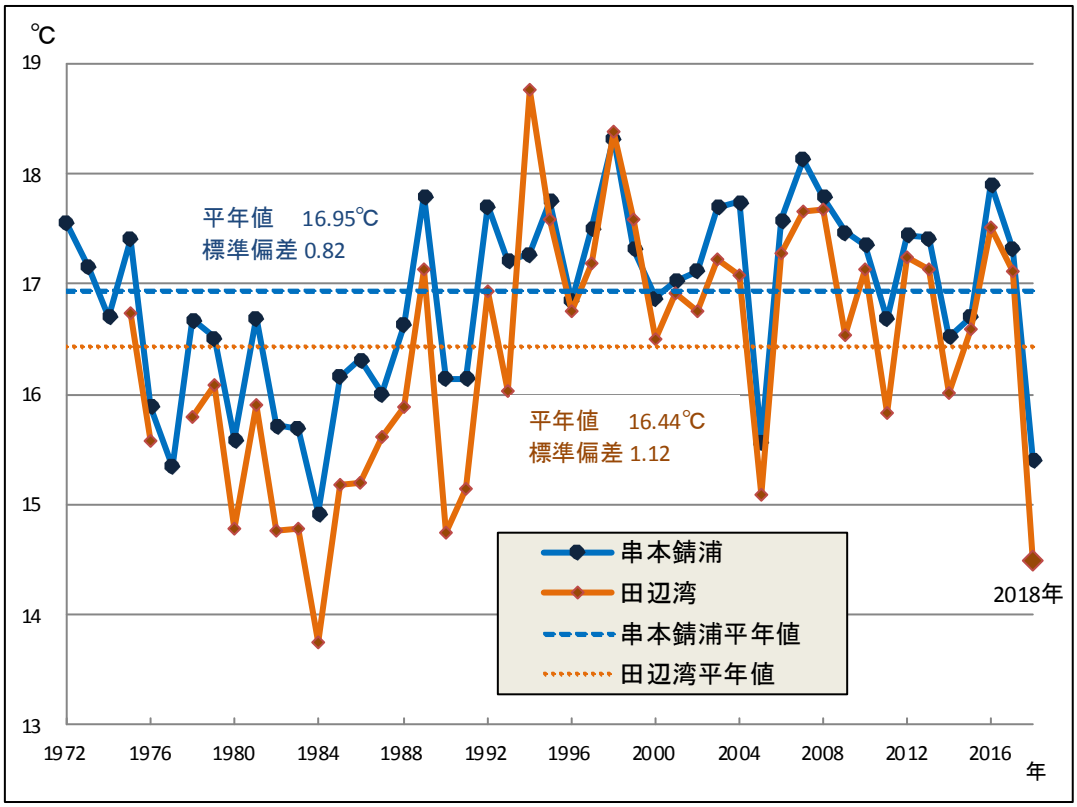

図2. 串本町錆浦と田辺湾の冬季(1−3月)平均水温の年変化

串本町錆浦の水温:串本海中公園センター観測
錆浦地先200m沖の海中展望塔で毎日9時に観測された表面水温
田辺湾:京都大学防災研究所 白浜海象観測所観測
1993年以前は白浜町臨海250m沖に設置された旧観測塔の水深2.5mの水温
1994年以降は白浜町臨海2km沖に設置された田辺中島高潮観測塔の水深5mの水温

以上から、今冬は錆浦も田辺湾も 1984 年以来 34 年ぶりとなる「異常な」低水温であったことが分かる。

低水温の原因

今冬の特徴的な海象現象としては、黒潮が 12 年ぶりに大蛇行していたことである。さらに、例年にない程の強い寒波の襲来により各地で記録的な低気温が観測されたことも特筆される。これら海陸両面での特異なイベントにより顕著な低水温現象が生じ、紀伊半島西岸域、特に田辺湾周辺域のサンゴ群集に過去最大規模とも言える大きな被害をもたらしたと推察される。

黒潮の流路は非大蛇行接岸、非大蛇行離岸、大蛇行の 3 型に分類され（気象庁, 2018；図 3）、大蛇行は 1960 年代以降 7 回観測されている（気象庁, 2018；図 4）。1970 年以前の水温情報は手元にはないが、1963 年の大蛇行時には田辺湾で顕著な低水温現象が生じ、サンゴの大量斃死とともにナガウニやオハグロガキ、ベニヒモイソギンチャク等の南方系種の個体群が消失したことが記録されている（大垣, 2010）。大蛇行期（図 4）と紀伊半島西岸における低水温年（図 2）を照合すると、両者の分布パターンはほぼ一致する。従って、紀伊半島西岸における大蛇行と低水温現象は密接に関連していると言える。

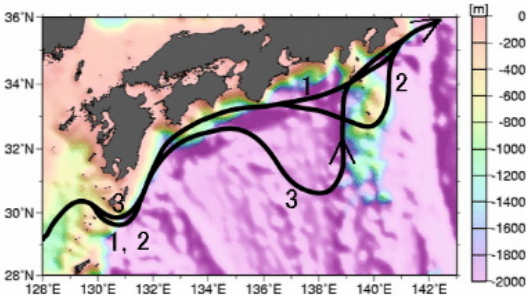

図3. 黒潮の流路3型

1：非大蛇行接岸型（直進型）

2：非大蛇行離岸型

3：大蛇行型

気象庁ホームページ（2018）より引用.

海域による水温環境の相違

紀伊半島は本州では黒潮の影響を最も強く受けるが、場所によりその影響度は異なり、以下に記す環境特性の明瞭に異なる 3 つの海域が形成されている（大垣, 2010；図 1）。紀伊水道：日ノ御埼以北（より低水温・低塩分な環境）、水道外域（本文では便宜的に枯木灘と呼ぶ）：日ノ御埼から潮岬（より高水温・高塩分な環境）、熊野灘：潮岬以東（紀伊水道と枯木灘の中間的な環境）。ただし、黒潮の流路の変化に伴いこの一般的な環境特性が枯木灘と熊野灘の間で逆転することが知られている。すなわち、黒潮が通常の直進型の場合は枯木灘は暖化する一方で熊野灘は寒化し、逆に黒潮が大蛇行に転ずると枯木灘は寒化し熊野灘は暖化する（大垣, 2001, 2010）。海域別に今冬の観測結果をみると

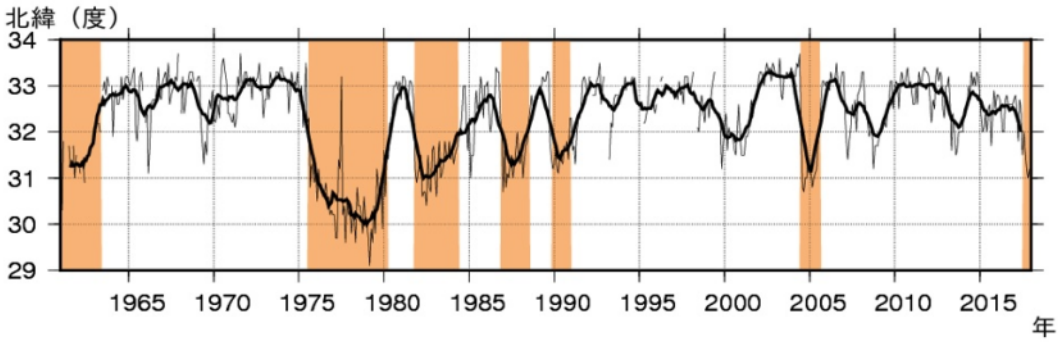

図4. 黒潮流路の変動

黒潮の流路が北緯32.5度より南下すると大蛇行（橙色部分）とされる.

気象庁ホームページ（2018）より引用.

（表 4)、枯木灘では平年差が−1.5 ～−2.0 ℃であったのに対し、熊野灘では−0.7 ℃と少なかった。この水温平年差の逆転現象は、黒潮の大蛇行に影響を受けたことが示唆される。また、紀伊水道（加太）では平年差は−0.4 ℃と最も少ない。従って、黒潮の大蛇行が紀伊半島沿岸の冬季水温に与えた影響は、紀伊水道と熊野灘は低く、枯木灘は高かったことが窺え、実際に今回のサンゴの斃死結果（表 2, 3）はそれに合致する。

なお、今冬の低水温による重大なサンゴ被害は紀伊半島西岸に限定的に起きたもので、国内の他の海域からは被害情報は寄せられていない。これは、黒潮の大蛇行の流路を見れば分かるように（図 3)、大蛇行は黒潮が紀伊半島東方沖に大きく離れる現象であり、それに伴う異常低水温も紀伊半島西岸に特異的な現象だからである。

紀伊半島西岸の卓状ミドリイシ類群集の安定性

紀伊半島西岸では 1990 年代初頭から高水温現象が長期継続し（図 2)、これを背景にすさみ海域からみなべ海域の枯木灘中部においては、1980 年代末までは見られなかったクシハダミドリイシを中心とした卓状ミドリイシ類の高密度群集が観察されるようになった（内田・御前, 1989; 串本海中公園センター, 2010)。本研究で調査した 4 地点（⑭・⑮・⑯・⑱）は当該海域に含まれる。そして、これらの海域の卓状ミドリイシ類群集は今冬の低水温現象によってほぼ消失し、1980 年代以前のサンゴ群集の姿に戻ったことになる。

さて、田辺湾においてこのようなサンゴ群集のダイナミックな消長は度々繰り返されてきたのであろうか。田辺湾の冬季平均水温の年変化をみると（図 2)、今冬よりも冷たい年がこの半世紀の間に 1 回（1984 年）あり、少なくとも 1984 年は卓状ミドリイシ類の消滅が起こったことが予想される。ただし、卓状ミドリイシ類、特にクシハダミドリイシの斃死は単純に平均水温や日水温で決まるのではなく、上項で述べたように 14 ℃以下の低水温の継続日数と関連することが分かっている。そこで、田辺湾において 14 ℃以下の日数がどれくらいあったかを把握するために、図 5 に 14 ℃以下の日数の年変化を示す。14 ℃以下の日数が今冬よりも多かった年は 1 回（1984 年）だけであり、これは冬季平均水温の最低年と同年である。しかしながら、1980 年と 1991 年には今冬でも観測されなかった 11 ℃台の水温が記録されており、これは南方系の種にとってはかなりインパクトの高い水温であったように思われる。そこで、各年の低水温インパクト指数（14 ℃以下の水温値に 1 ℃毎に重み付けを行って出現日数を掛けて集計し、田辺湾の 2018 年の値を 100 として表した指数）を算出して 2018 年との比較を行った（図 6)。すると、1982 年と 1991 年は今冬と同じ低水温レベルに、1980 年と 1984 年は今冬以上のレベルであったことが推察された。つまり、田辺湾の卓状ミドリイシ類群集の低水温に由来する大きな攪乱は、今冬と前述した 1963 年の記録（大垣, 2010）を含め、1960 年代以降 6 回はあったことが予想される。

串本海域においては、串本海中公園が設立された 1970 年以降、そのスタッフによって浅海域の状況がつぶさに観察されてきたが、これまで低水温によって卓状ミドリイシ類が消滅するほどの被害は記録されていない。低水温インパクト指数においても、今冬の田辺湾と同レベルの指数値であった年は錆浦では見当たらない（図 6)。しかも、錆浦における今冬の低水温インパクト指数は田辺湾の 1/7 程度に過ぎない。

以上から、紀伊半島西岸における卓状ミドリイシ類群集は、枯木灘中部ではほぼ黒潮が大蛇行する度に低水温による大きな攪乱を受けるために安定せず、枯木灘南部では低水温による本質的な影響は受けず田辺湾よりは安定していることが窺える。

ところで、1960 年代以降の黒潮の流路変動を見ると（図 4)、1970 年前後はほぼ 10 年にわたって安定した直進型が続き、その後 1990 年代初頭までの 15 年間は大蛇行と直進を繰り返して安定しない状態が続いた。1990 年代初頭

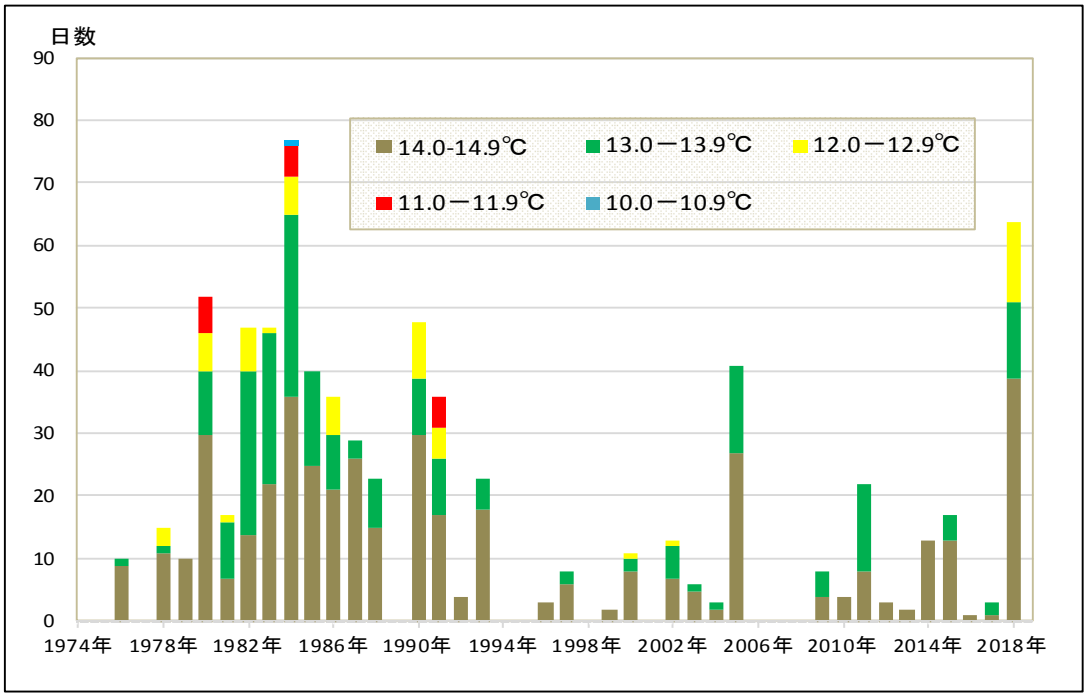

図5. 田辺湾における冬季（1−3月）に14℃以下の水温が記録された日数組成の年変化
水温データの出典は図2を参照.

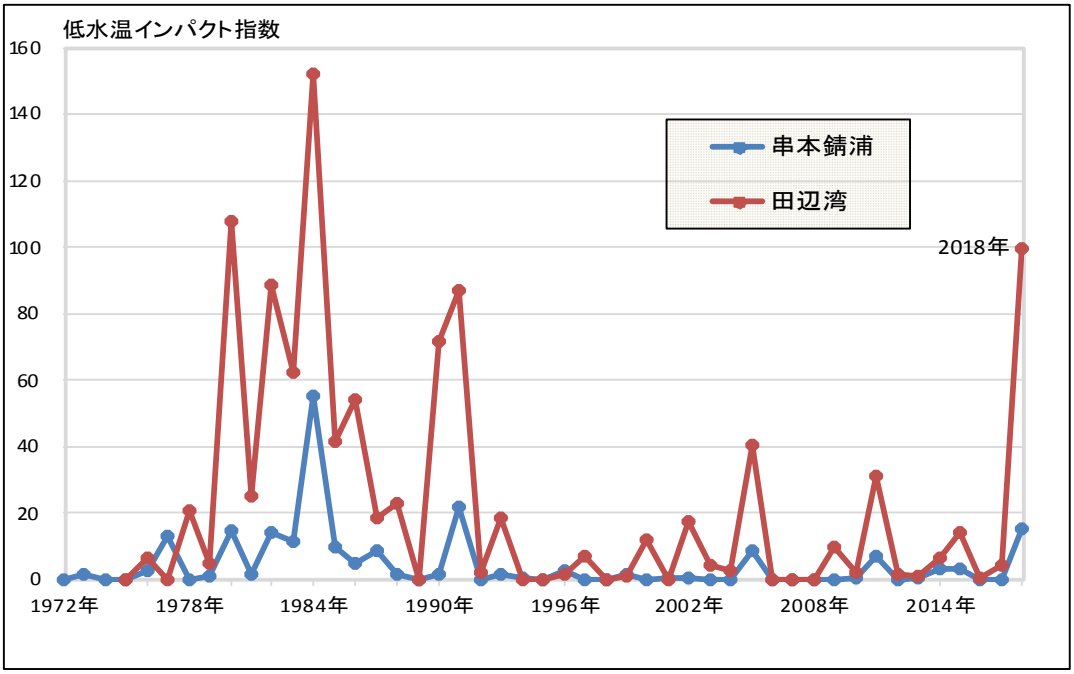

図6. 串本町錆浦と田辺湾の冬季低水温インパクト指数の年変化

低水温インパクト指数：14℃以下の水温値に1℃毎に重み付けを行って出現日数を掛けて集計し、田辺湾の2018年の値を100として表した指数. 水温データの出典は図2を参照.

以降では 2005 年に 1 度だけ大蛇行が発生しているが、この年の低水温インパクト指数は高くはなかった（図 6）。そこで、この年を除外すれば、昨年まで 30 年近くの極めて長期にわたって直進型が継続したとみなされる。従って、卓状ミドリイシ類群集の安定性の乏しい田辺湾において、直径 2 m近くの大型群体を多数含む老成した卓状ミドリイシ類群集が直近まで認められたのは、1990 年代以降長期間継続した黒潮の直進に育まれたことによろう。

海域による種別の斃死状況の相違

表 3 は観察種の斃死階級を地点別・種別に示したものであり、地点は熊野灘側を除いて緯度の低い順に配列されているので、地点が北上するにつれて観察種の斃死階級がどのように変わるか、すなわち大凡の致死臨界地点がどこにあるのかが分かる。それを整理すると以下のようにグループ分けすることができる。

㋐串本以北でほぼ全ての斃死が認められた種（スギノキミドリイシ、サオトメシコロサンゴ）。

㋑白浜以北でほぼ全ての斃死が認められた種（卓状ミドリイシ類：エンタクミドリイシ、クシハダミドリイシ、タイハイミドリイシ、ニホンミドリイシ、ミドリイシ）。

㋒天神崎以北でほぼ全ての斃死が認められた種（アバタセンベイサンゴ、ムカシサンゴ、パリカメノコキクメイシ、タカクキクメイシ、トゲイボサンゴ）。

㋓御坊以北でほぼ全ての斃死が認められた種（ゴカクキクメイシ、おそらくハマサンゴ類とキッカサンゴ）。

㋔緯度が上がっても斃死階級は変化しない種（エダミドリイシ）。

紀伊半島に分布するサンゴは、1990 年代以降の高水温現象により本州で初めて加入・定着した新参型の種と、1980 年代以前より紀伊半島で分布が確認されている在来型の種に大別される（野村, 2009）。新参型に含まれるのは上述の㋐で、この種は低水温に対する耐性が在来型の種に比べて特に弱い。残りのグループは全て在来型になるが、低水温に対する耐性は種によって異なり、耐性の度合いに応じてさらに弱低水温耐性在来型（㋑）、中低水温耐性在来型（㋒）、強低水温耐性在来型（㋓、㋔）の 3 型に細分することができる。強低水温耐性在来型には斃死階級組成が異なる㋓と㋔を含んでいるが、㋓は強い低水温耐性を獲得したインド・西太平洋系種であるのに対し、㋔（エダミドリイシ）は温帯域に適応して種分化した東アジア海域の固有種で、両者間の斃死階級差はこの種の分布特性の違いに由来している。また、㋓のフカトゲキクメイシとキクメイシ、それにトゲイボサンゴは御坊以南で群体全ての斃死が確認されたものの、それよりも北に位置する日高では深刻な斃死階級に至ることなく生残し、緯度と斃死階級との間で矛盾が認められた。これは、大蛇行に伴う水温変化の地域的な差（紀伊水道では平年差が低く枯木灘では高い）ことによるものと思われる。

本研究の調査中にはサンゴ以外にも多くの動物群で低水温に由来する大量斃死が認められた。その中で特に目立ったのがシラヒゲウニやナガウニ類の南方系のウニ類で、多くの地点でおびただしい数で海底に堆積する両種の死殻が観察された。表 3 にこれらウニ類の地点別の斃死状況を示す。ナガウニ類は枯木灘南部では個体群の半数以上が、枯木灘中部ではほぼ全ての斃死が認められた。シラヒゲウニは枯木灘の全域でほぼ全ての斃死が認められたが、熊野灘では生残し斃死個体は認められなかった。また、白浜町江津良港では、ニセクロナマコやタツナミガイの大量斃死も観察された。これらごくありふれた普通種の凍死からも、今冬の低水温がいかに厳しいものであったかが察せられる。

謝辞

本研究に関わる資料の一部は環境省平成 29 年度冬季異常低水温によるサンゴ群集への影響把握調査ならびに環境省モニタリングサイト 1000 事業 2017 年度調査結果に基づいた。研究

を支援いただいた環境省生物多様性センターならびに自然環境研究センターに御礼申し上げる。現地調査に協力いただいた環境省田辺自然保護管事務所、紀州日高漁業協同組合、クラブノアすさみ、サンマリン、シーマンズビーチ、須江ダイビングセンター、田辺ダイビングサービス、日高ダイビングセンター、マルマツ潜水クラブ、和歌山東漁業協同組合に感謝の意を表す。田辺湾の水温データを提供いただいた京都大学防災研究所流域災害研究センター流域圏観測研究領域白浜海象観測所に厚く御礼申し上げる。

引用文献

山城秀之, 2016. サンゴ　知られざる世界. 165pp. 成山堂書店, 東京.

福田照雄, 1984. 寒波に耐えた天神崎のエダミドリイシ. マリンパビリオン, 13: 38-39.

福田照雄, 1985. 寒波で死んだクシハダミドリイシの回復. マリンパビリオン, 14: 32-33.

御前　洋, 1984. 寒波による石サンゴ類の斃死について. マリンパビリオン, 13: 68-69.

御前　洋, 1985. 寒波によるイシサンゴ類の生存限界について. 海中公園情報, 68: 15-19.

大垣俊一, 2001. 総説　紀伊半島南部沿岸の海況. Argoauta, 5: 9-21.

大垣俊一, 2010. 浅海生物相の長期変動－紀州田辺湾の自然史. 136pp. 南紀沿岸生態研究室, 田辺市.

環境省生物多様性センター, 2018a. モニタリングサイト 1000 サンゴ礁調査概要. 生物多様性センターホームページ（http://www.biodic.go.jp/moni1000/coral_reef.html）.

環境省生物多様性センター, 2018b. スポットチェック法. 生物多様性センターホームページ（http://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/index.html）.

内田弘臣・御前　洋, 1989. 和歌山県沿岸イシサンゴ分布調査第 1 次調査の結果. マリンパビリオン, 18: 34-35.

串本海中公園センター, 2010. 平成 22 年度和歌山県サンゴ分布状況調査報告書. 140pp. 和歌山県.

野村恵一, 2009. 和歌山県串本海域における近年のサンゴ群集変化. 日本サンゴ礁学会誌, 11: 39−49.

野村恵一・深見裕伸・座安佑奈・島田　剛・北野裕子・横地洋之・下池和幸・立川浩之・奥裕太郎・鈴木　豪・梶原健次, 2016. 串本の有藻性イシサンゴ類相の再整理. マリンパビリオン, 特別号, 4: 1−20.

気象庁, 2018. 黒潮の数ヶ月から十年規模の変動（流路）. 気象庁ホームページ（http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/b_2/kuroshio_stream/kuroshio_stream.html）.

マリンパビリオン 特別号　No. 7
発行日　平成 30 年 4 月 20 日
編集兼発行人
〒 649-3514 和歌山県東牟婁郡串本町有田 1157
（株）串本海中公園センター
電話 & FAX 0735-62-4875
ホームページ　http://www.kushimoto.co.jp/
（本誌は上記からも無料配信中）

Marine Pavilion, Supplement No. 7　2018
Kushimoto Marine Park Center
Arita, Kushimoto, Wakayama 649-3514, JAPAN
URL : http://www.kushimoto.co.jp/
Copyright © 2018 Kushimoto Marine Park Center