

日本海における藻場形成過程での 生物群集と環境の影響

日本海区水産研究所資源増殖部
佐藤善徳・林育夫・奥村卓二・
木暮陽一・長沢トシ子
共同調査機関
山形県水産試験場
調査実施年度
平成4年度～7年度

1. 緒言

近年、各地でアワビ、サザエなどの増産が図られているが、日本海沿岸にはこのような生物の生息に適した藻場が少なく、逆に、最近では磯焼けなどによって漁場の喪失が見られるようになっている。このため人工構築物の設置などによる漁場の維持、拡大が期待されているが、目的とする海藻が芽生え、繁茂するためには水温、栄養塩類などの海洋環境や侵入してくる動物群の活動が大きく影響するものと考えられる。このため本調査では、海藻群落が形成されていく過程で動物群や環境変動がどのように影響するかを追究し、日本海で人工構築物の設置による藻場造成を図るための基礎資料とすることを目的とした。

2. 調査方法

【調査海域】 山形県温海町の温海川の北側の丹蔵下海域に磯焼けが起こり、山形県水試が平成4年からこの回復を図るため、磯焼けが生じている海底のほぼ中心部（水深5 mと3 m）にコンクリートブロックを設置して、実験、調査を開始した。そこで同じ海域を調査対象海域とし、磯焼けの生じていない温海川の南側の白崎海域を対照海域とした。また、調査開始後、対象海域で海藻の成育が確認されたため、磯焼けが持続している新潟県粟島西海域の調査を追加した（図1）。

【生物調査】 植食性動物の藻場形成に与える影響をみるため、平成4年度は丹蔵下、白崎海域で潜水による生息動物調査を行なった。5年度は藻場に与える植食性巻貝の摂食の影響をその体成分から判断できるかどうか、サザエを飼育して実験した。6、7年度は、温海海域で採取したサザエの体成分分析を行なった。

【環境調査】 山形県水試が水深3 mの海底に設置したブロックに水温計（DTR MOX-DTR1S）を取付けて水温データの連続取得行なった。また、みずほ丸（日水研所属 150.44トン）で現場沖合と周辺海域の定線、定点調査を実施した。調査はCTD観測、採水を行なった。試水は船上でグラスファイバー紙（ワットマンGF/F）でろ過後凍結し、実験室

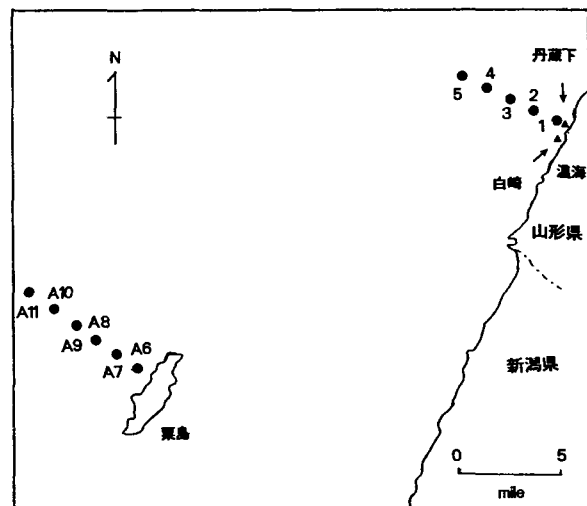


図1. 調査海域と調査点

に持帰り、硝酸（亜硝酸塩を含む）塩、アンモニウム塩、りん酸塩、けい酸塩を分析した。

3. 調査結果

【生物調査】 平成4年6月29日に生物群の実態をみるため両対象海域で潜水調査を実施した。海藻類について、丹蔵下海域では大きな群生は見られず、まばらに18種の海藻が確認され、ヨレモク、トゲモクなど大型多年性海藻もわずかに観察された。一方、白崎海域では15種の海藻が確認され、大型多年性のカイフモクの群落が観察された¹⁾。また、採取された動物の種類数（ゴカイ類および小型甲殻類を除く）は、丹蔵下で36種、白崎では17種であり、個体密度はそれぞれ64.4個/m²、8.2個/m²、重量密度は349.2g/m²、105.9g/m²であった（表1）。丹蔵下で1個/m²以上の密度で出現した動物は、ヒザラガイ類3種、巻貝類4種、ヤドカリ1種、ヒトデ類2種、ウニ1種の11種であった。また、ここで出現したものは砂質海底に生息する傾向の強いものが多かった。一方、白崎では後鰓類1種、ウニ1種の2種だけで、丹蔵下で植食性巻貝の優占種であるコシダカガンガラ、オオコシダカガンガラは出現しなかった。これは海底が巨大な岩盤で構成されているため生物相が単純化されたためと考えられる。さらに、重要な漁獲対象種のサザエは丹蔵下で0.6個/m²、白崎で0.4個/m²と両海域ともに極めて少なかった。山形水試は1992～1994年の両海域の夏期の海藻の現存量を丹蔵下海域で1.1～1.9kg/m²、白崎海域で1.6～7.3kg/m²と報告している²⁾。したがって、磯焼けの起こっている丹蔵下海域が種類、個体数、密度ともに圧倒的に高い値を示しており、その摂食圧はかなり大きいものと推定された。

1. 白崎海域（非磯焼け海域）

種		名		個体数	湿重量		
軟体動物門	ウスヒザラガイ綱	ウスヒザラガイ目	ウスヒザラガイ科	ホソウスヒザラガイ	0.2	0.502	
			エビスガイ	0.2	3.621		
	腹足綱	原始腹足目	ニシキウスガイ科	サザエ	0.4	86.279	
			リュウテンサザエ科	クリフレンガイ	0.4	2.632	
	新腹足目	アケキガイ科	アメフラシ科	アメフラシ	1.6	102.063	
			クロヘリアメフラシ	0.8	3.048		
			イガイ目	イガイ科	ムラサキイガイ	0.6	30.771
			ヒメイガイ	0.2	0.032		
	二枚貝綱	イガイ目	イガイ科	ヒバリガイ	0.2	0.054	
				節足動物門	甲殻綱	十脚目	コシオリエビ科
			ヤドカリ科	ケブカヒメヨコバサミ	0.6	3.377	
			唇蛇尾目	クモヒトデ科	ニホンクモヒトデ	0.2	1.376
海星綱	有棘目	アステリナ科	イトマキヒトデ	0.6	36.274		
			ヒメヒトデ	0.2	0.142		
海胆綱	拱歯目	オオバフンウニ科	バフンウニ	0.2	21.119		
		ナガウニ科	ムラサキウニ	1.4	232.273		
海鼠綱	楯手目	マナマコ科	ゴカクキンコ	0.2	5.886		
				1 m ² 当りの密度、湿重量	8.2	105.907	

表1-1. 温海海域で採取された動物（1992.6.29）

個体数：個体数/m²，湿重量：湿重量/m²

2.丹蔵下海域(磯焼け海域)

種		名		個体数	湿重量			
偏形動物門	渦虫綱	多岐腸目	多岐腸目 sp.	0.4	0.334			
環形動物門	多毛綱	遊在目	ウロコムシ科 ウロコムシ科 sp.	0.2	0.244			
軟体動物門	ウスヒザラガイ綱	ウスヒザラガイ目	ウスヒザラガイ科	ホソウスヒザラガイ	5.6	7.244		
				ウスヒザラガイ	9.2	10.413		
				ヤスリヒザラガイ	0.2	2.607		
				ヒゲヒザラガイ科	ババガセ	0.4	1.016	
				クサズリガイ科	クサズリガイ	0.2	0.363	
				ケムシヒザラガイ科	ケムシヒザラガイ	1.2	14.264	
			腹足綱	原始腹足目	ユキノカサガイ科	サクラアオガイ	1.6	1.140
					ニシキウズガイ科	コシダカガンガラ	2.2	78.698
						オオコシダカガンガラ	4.9	296.899
					リュウテンサザエ科	サザエ	0.6	23.554
			新腹足目	アクキガイ科	クリフレッシュガイ	3.8	61.697	
				エソバイ科	ミガキボラ	0.2	31.581	
				クダマキガイ科	ウエダカモミジボラ	0.2	1.108	
			無鰓目	アメフラシ科	アメフラシ	0.4	59.937	
クロヘリアアメフラシ	0.2	4.734						
二枚貝綱	フネガイ目	フネガイ科	ミミエガイ	0.2	0.364			
		イガイ目	イガイ科	ヒメイガイ	0.4	4.349		
			ヒバリガイ	0.2	3.051			
節足動物門	甲殻綱	十脚目	カニダマシ科	コブカニダマシ	+			
			ヤドカリ科	ブチヒメヨコバサミ	0.2	0.022		
				ケブカヒメヨコバサミ	2.2	6.762		
			ホンヤドカリ科	イクビホンヤドカリ	0.2	0.178		
				ケアシホンヤドカリ	0.4	1.159		
			トラバガニ科	イボトゲガニ	1.0	6.780		
棘皮動物門	蛇尾綱	頭蛇尾目	スナクモヒトデ科	スナクモヒトデ	1.0	0.358		
			トゲクモヒトデ科	ナガトゲクモヒトデ	0.8	3.529		
			アミメクモヒトデ科	アミメクモヒトデ	0.2	0.190		
		唇蛇尾目	クモヒトデ科	ニホンクモヒトデ	3.6	48.987		
		海星綱	有棘目	アステリナ科	イトマキヒトデ	6.6	353.923	
海胆綱	拱歯目	ラッパウニ科	アカウニ	0.4	112.249			
		オオバフンウニ科	バフンウニ	14.4	482.810			
		ナガウニ科	ムラサキウニ	0.2	47.550			
海扇綱	楯手目	マナマコ科	マナマコ	0.8	73.116			
		グミモドキ科	Thyonidiella sp.	0.2	4.841			
1㎡当りの密度, 湿重量				64.4	349.230			

表1-2. 温海海域で採取された動物(1992.6.29)

個体数: 個体数/㎡, 湿重量: 湿重量/㎡

【体成分分析】 体成分分析については、魚類では確立している³⁾が、巻貝ではその分析法が確立していないため、分析法の検討、改善を行ない⁴⁾、丹蔵下の優占種であるコシダカガンガラ、オオコシダカガンガラによる植食性巻貝の体成分分析を検討した。しかし、この種は対照海域の白崎海域で出現しないだけでなく、小型で殻が非常に堅く分析がかなり困難であることがわかったため、出現数は少ないが比較ができるサザエによる検討を行なうこととした。しかし、サザエで比較検討できる体成分分析値がないため、平成5年は新潟県粟島で採取したサザエでワカメを餌として、飽食状態と飢餓状態で飼育した場合の体成分分析値変化を飼育実験で追跡した。その結果、給餌したサザエの核酸比、グリコーゲン量、CN比はほとんど変化せず、それぞれ約2、約100mg/g・韃、約3.6であったが、給餌を止めると21日でその値は、約1、10mg/g・韃以下、約3.2に低下し、給餌を開始すると、ほぼ30日で核酸比は回復することがわかった。したがって、サザエの体成分値は飢餓に関する反応はあまり敏感でないことがわかった。この結果をもとに丹蔵下海域で水試が平成5年6月17日、8月28日に採取し、凍結保存していたサザエの提供を受け、分析を行なった。平均殻長はそれぞれ46.4mm、54.5mmであった。分析結果(表3)をみるといずれの分析値も飼育実験による給餌群の値とほぼ一致した。摂食した海藻によってこれらの値に差があることは考えられるが、対象海域は餌となる海藻が少ないにもかかわらず、サザエは飢餓状態ではなかったと考えられ

試料	核酸比	グリコーゲン量 (mg/g・dry-weight)	CN比
0617	2.04±0.49	92.6±30.4	3.61±0.16
0828	1.61±0.42	79.9±36.2	3.50±0.14
飼育実験 給餌	約 2	約 100	約 3.6
無給餌	約 1	10 以下	約 3.2

表2. 温海町丹蔵下で採取したサザエの体成分分析結果

た。この分析で海藻の少ない丹蔵下海域に生息するサザエが、長期間(3週間以上)飢餓状態ではなかったことから、他の植食性動物も飢餓状態であったとは考えにくい。したがって、相当量の海藻類がこれら動物群によって摂取されていたものと考えられ、小型の1年生の海藻を摂取していたものと考えられる。したがって、藻場を形成する海藻の芽生えの時期に、これら動物群の摂食による海藻群落への影響を無視することはできない。しかし、平成5年の潜水調査で、水試が前年の10月に設置したブロック上部に海藻の芽生えが見られ、平成6年の春には海藻が繁茂がし、多年性のホワングワラ類の育成も確認された。また、海底から約30cm程度は、何も付着、成育しておらず、漂砂による海藻付着面の研磨作用が推定され、さらに周辺の岩石も反転しているようすがみられた。したがって、温海町丹蔵下磯焼け海域で海藻群落の回復に、植食性動物がかなり影響を与えていることは推定できるが、致命的な影響を与えている可能性は少ないと考えられ、主たる要因は物理的なものと推定された。

【環境調査】 水試の設置したブロックに取付けたDTRは何回かトラブルにあい、冬期の記録は1シーズンしか取れなかった(図2)。これを見ると、年間7~28°Cの間で大きく変化している。また、数日間に区切ってしてみると10数時間の周期で変動していることがわかる。周期解析をしてみると、24、18、12時間周期が抽出された。特に、夏期に限ってみると、18時間周期が目立ってくるということがわかった。これは慣性周期と考えられる。さらに、短期間で見てみると10°C近い変動をすることがあり、冬期に多く現れていることがわかった。このような急激な水温変動は日周期や慣性周期によるものではなく、天候の急変によって海が荒れたことによるものと考えられる。水温だけに限って言えば、長期的にも短期的にもかなり厳しい変動を受けていることがわかる。

この海域の水温、塩分、無機栄養塩類の分布はこの調査では初夏から秋期にかけて構造的に大きな違い

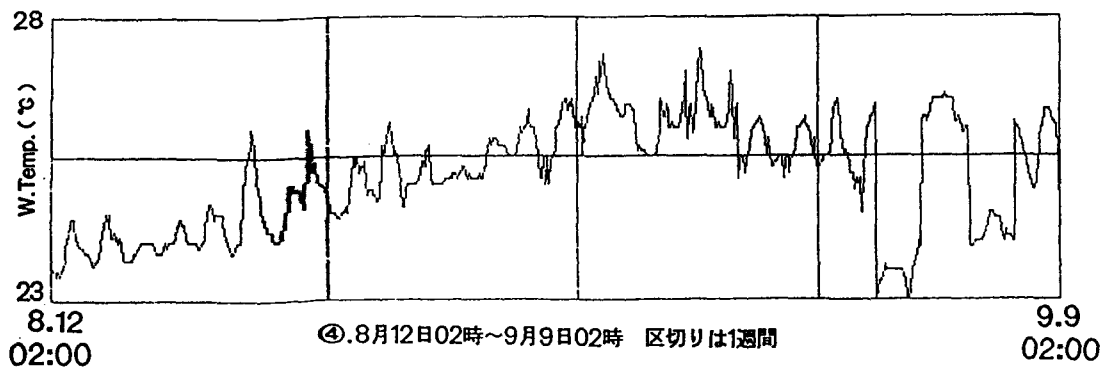
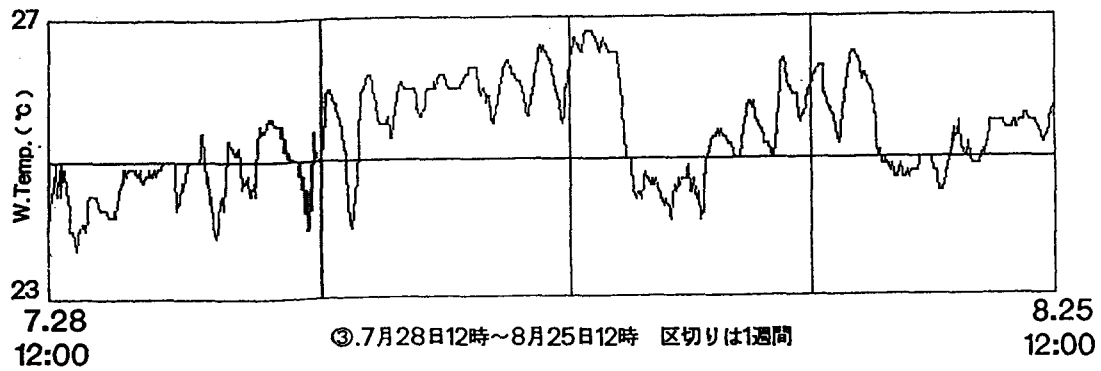
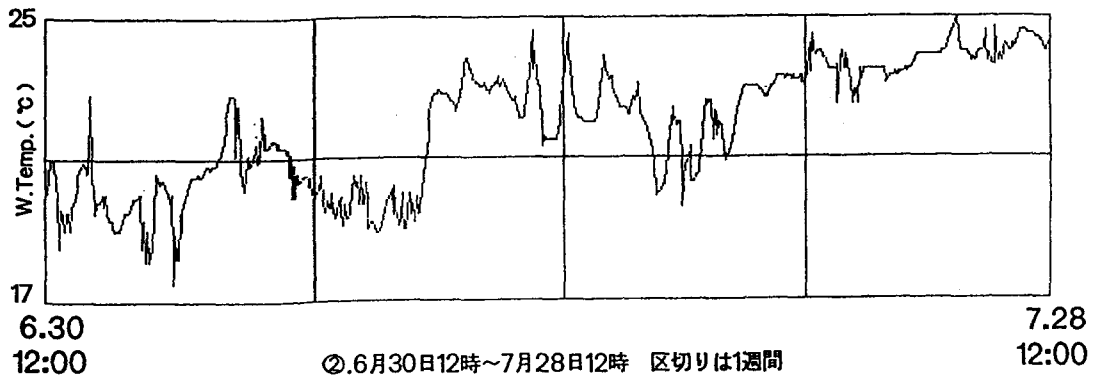
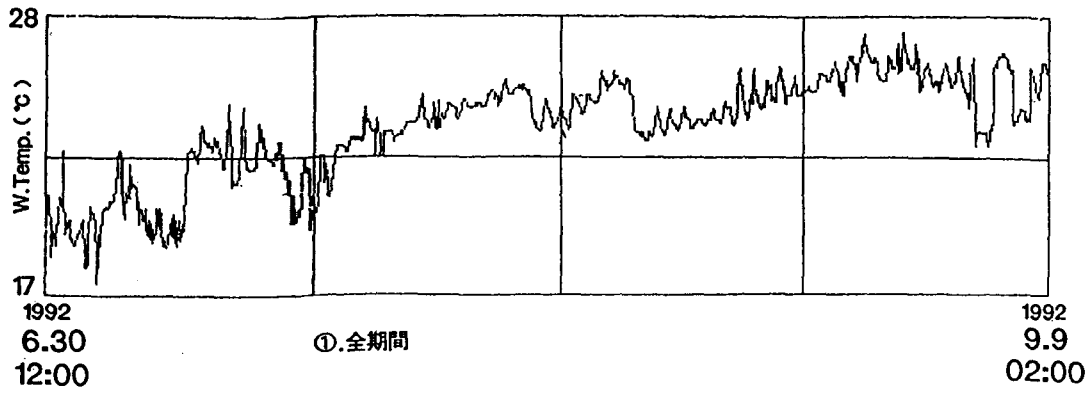


図2-1.温海丹蔵下海域での水温変動(水深3m)

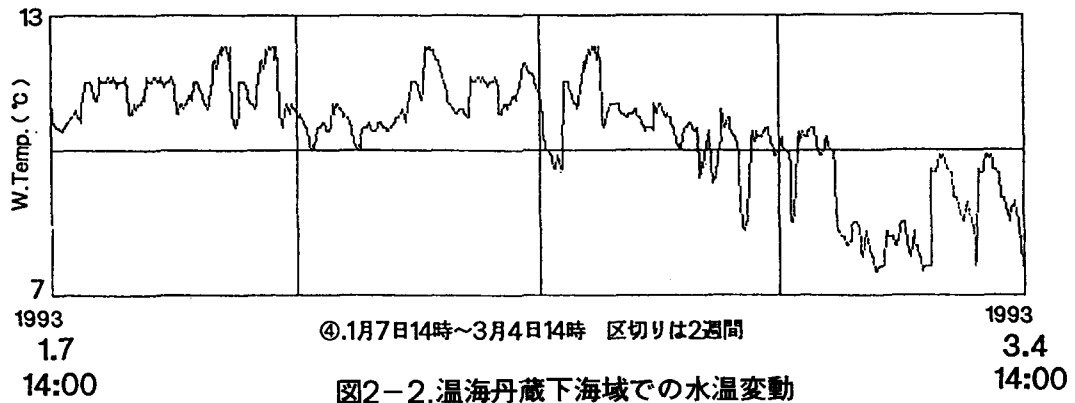
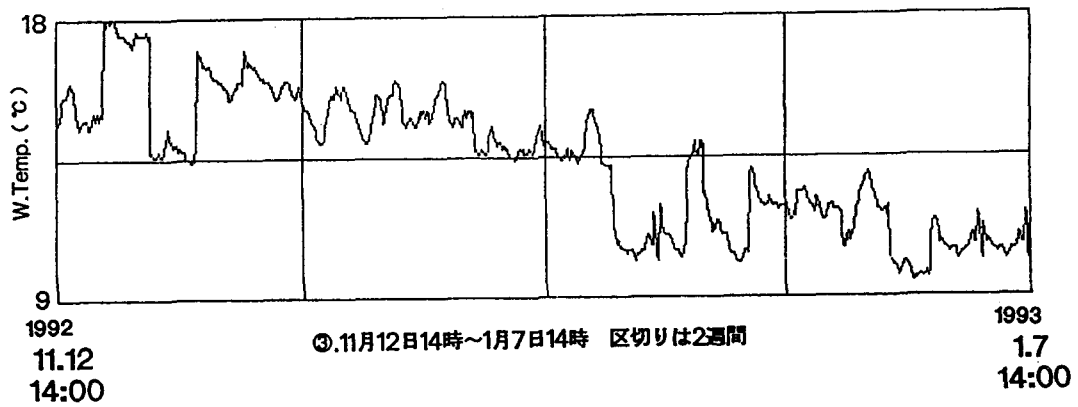
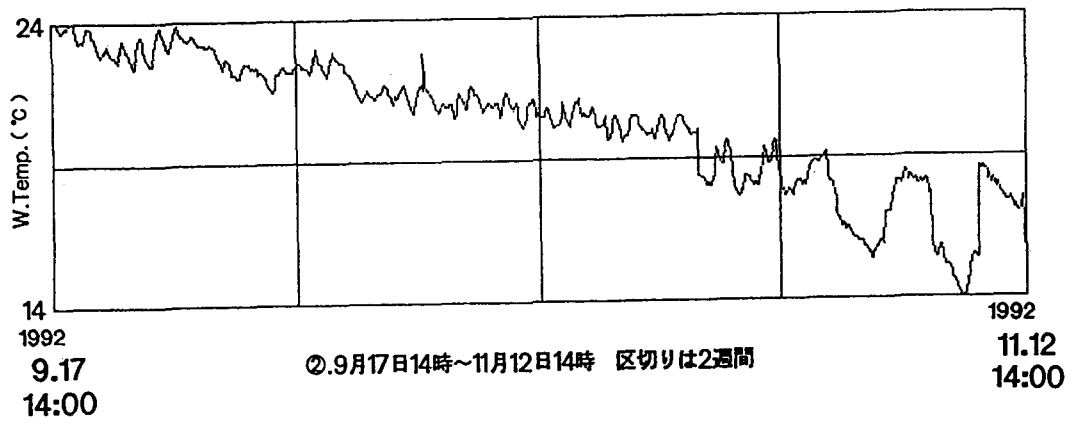
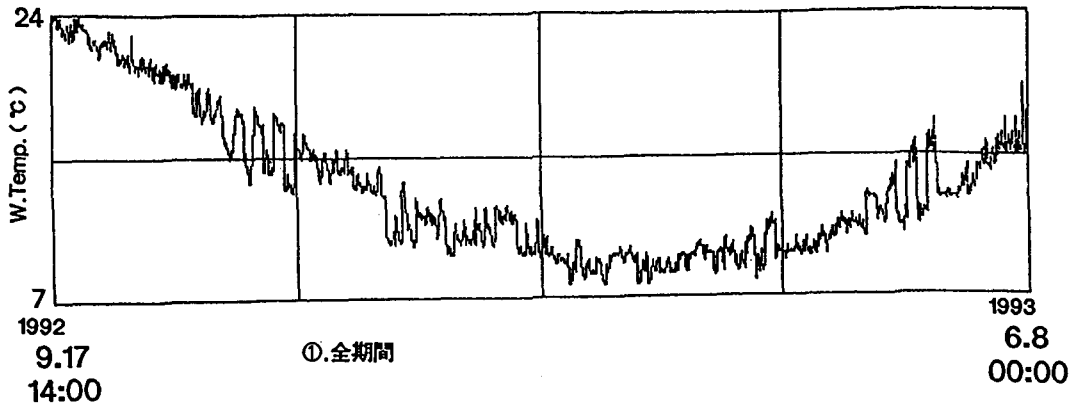


図2-2. 温海丹蔵下海域での水温変動

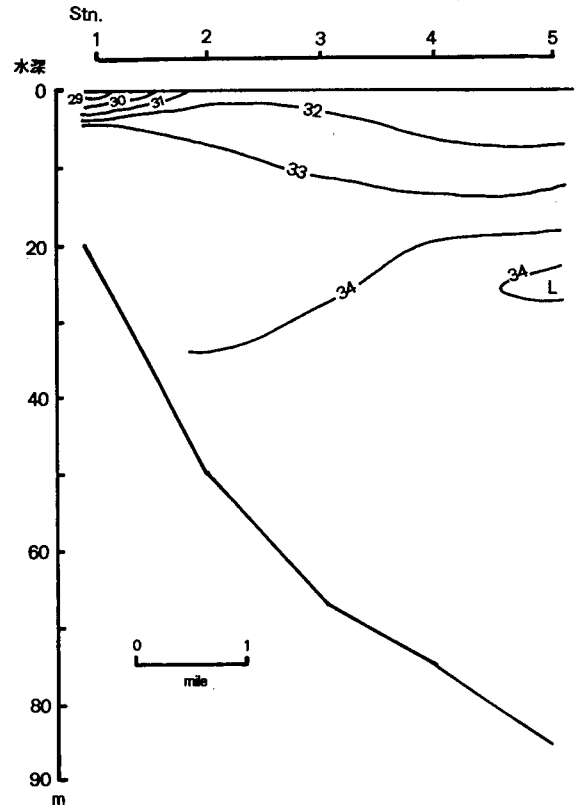
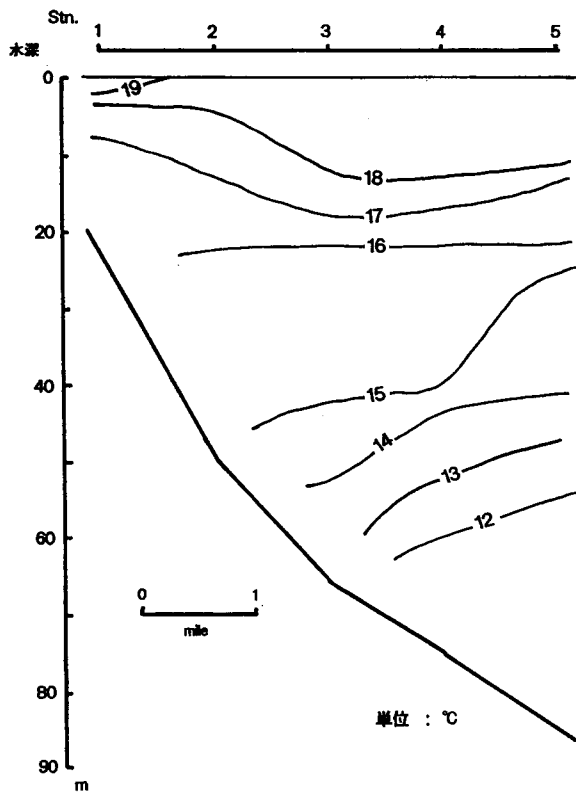


図3. 温海海域の水温の鉛直分布 (1993年6月18日)

図4. 温海海域の塩分の鉛直分布 (1993年6月18日)

はなく、ここでは1993年6月の結果を示す(図3~8)。これを見ると海藻が成育すると考えられる20mより浅い部分は、極く表層部に硝酸塩、アンモニウム塩は検出されているが、栄養塩類が欠乏状態(硝酸塩、りん酸塩の検出限界は0.05, 0.03 μ mol)であり、約50mより深い部分にはかなり高濃度で栄養塩類は存在していることがわかる。丹蔵下海域の沖合の水深22mでの定点調査時の水温の変動を図9に示す。底層水温はDTRで記録したと同様に、12~18時間周期の変動を示しており、周期的な沖合の底層水の湧昇を示している。しかし、栄養塩類は底層水温が下降し、底層水の上昇の時にも検出されず、沖合の底層水からの栄養塩類の供給はなかったことになる。沖合水の栄養塩類の存在する40mより深い層の水温は(図3)15 $^{\circ}$ C以下であり、この水温の水が湧昇してくれば岩礁に成育する海藻への栄養塩類の供給となる。しかし、この調査時期のDTRの記録した水温変動(図2)を見ると、17 $^{\circ}$ C以下には下がっていない。したがって、栄養塩類を含んだ沖合水の侵入はないものと考えられ、初夏から秋にかけて平常状態では、この海域への栄養塩類供給に沖合水は寄与していないことがわかった。一方、定点調査での栄養塩類の変動を見てみると、硝酸塩は初回のみ表層で検出されたがその後検出限界もしくはそれ以下であり、アンモニウム塩は間欠的に表層で検出され、りん酸塩は検出限界以下であったため図示できない。けい酸塩(図10)は表面で水温と連動するような形で変動を示しており、底層水温が上昇する時、すなわち、沖合い底層水が下がる時、河川水の影響を受けた水が到達していることがわかる。この河川水の影響を受けた水にわずかであるが硝酸塩が検出されている。したがって、この海域への栄養塩類の供給は、河川水から流入したものの、ほとんどの栄養塩類を消費された表層水によって行なわれているものと考えられる。しかし、DTRの記録(図2)で水温が短時間に3~4 $^{\circ}$ C急激な低下をしている時があり、この場合は海が荒れ、水温の低い沖合い底層水が侵入、混合したためと考えられ、このような場合に底層水の栄養塩類が供給されるものと考えられる。このようになんか栄養塩類が希薄であるにもかかわらず、温海町丹蔵下海域では設置したブロックに海藻群落の回復が確認された。そこで、磯焼けが持続している粟島西海域の栄養塩類の状況を考察してみる。この海域の水温、栄養塩の分布(図11~14)状況は温海海域と基本的に大きな違いはない。また、図示しないがこの海域に設置したDTRも丹蔵下と同様の水温変動を記録した。これらの

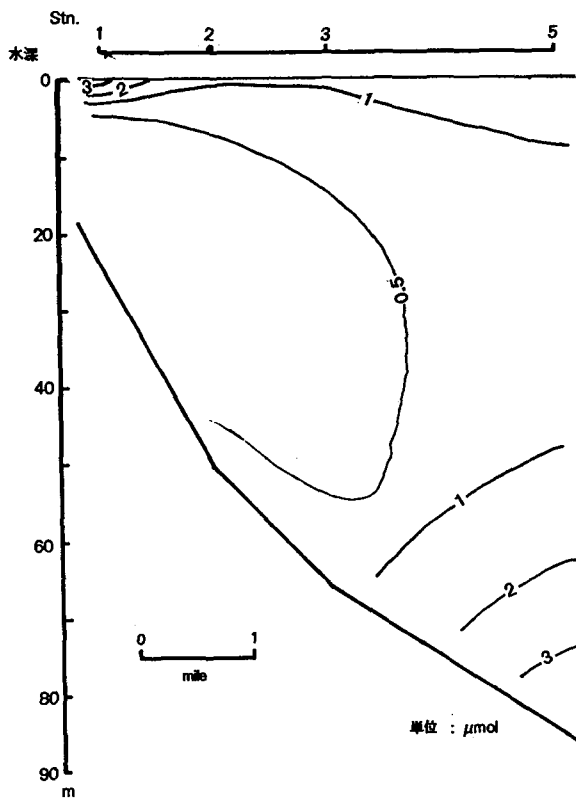


図5. 温海海域の硝酸塩（亜硝酸を含む）の鉛直分布
（1993年6月18日）

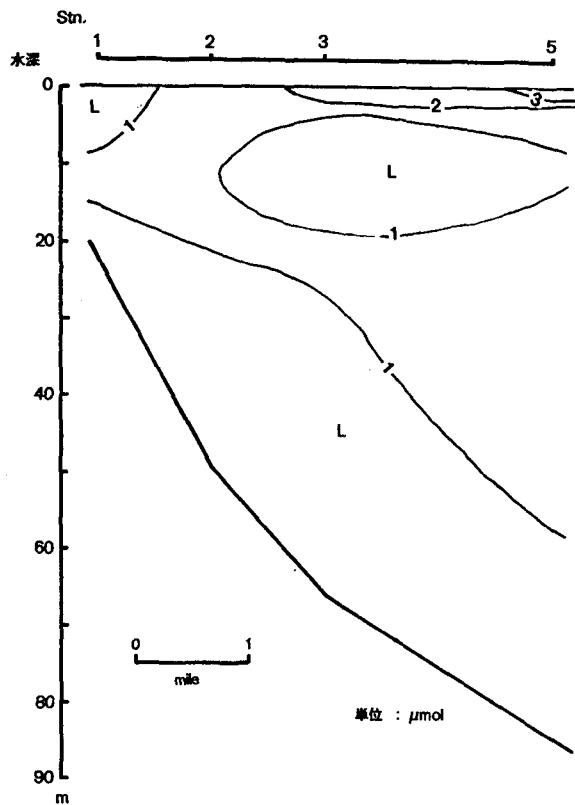


図6. 温海海域のアンモニウム塩の鉛直分布
（1993年6月18日）

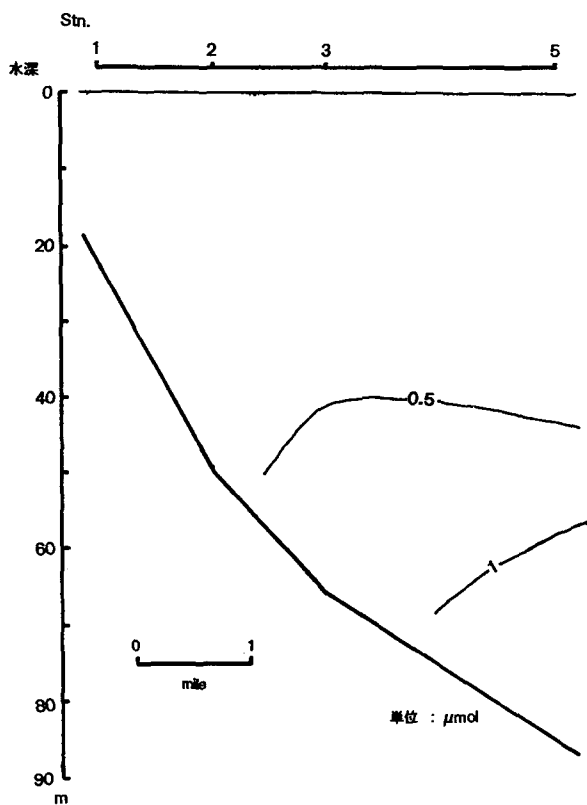


図7. 温海海域のりん酸塩の鉛直分布（1993年6月18日）

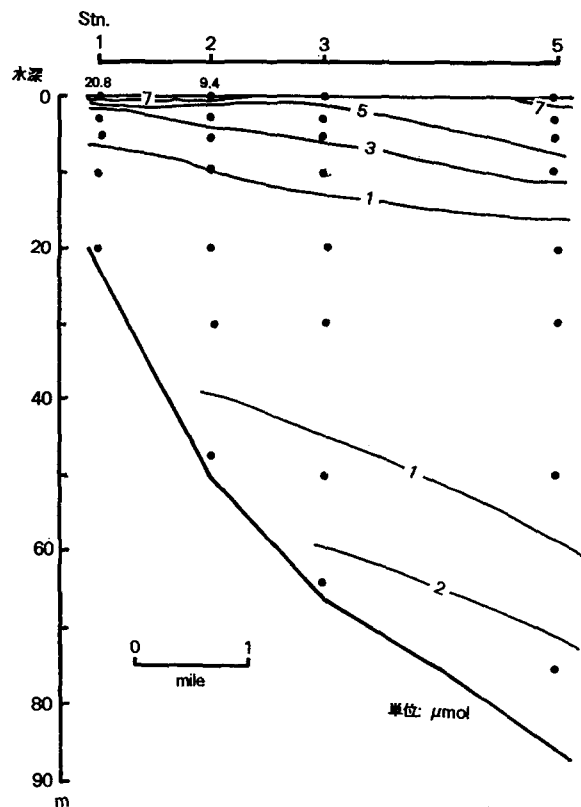


図8. 温海海域のけい酸塩の鉛直分布
（1993年6月18日）

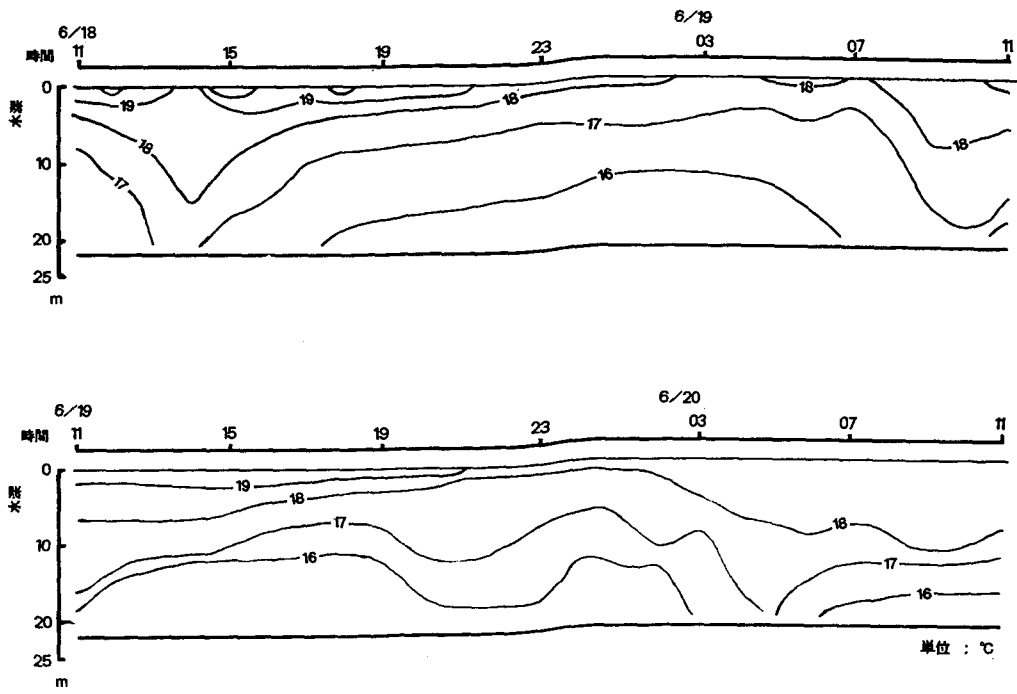


図9. 温海海域Stn.1における水温変動(1993年6月18~20日)

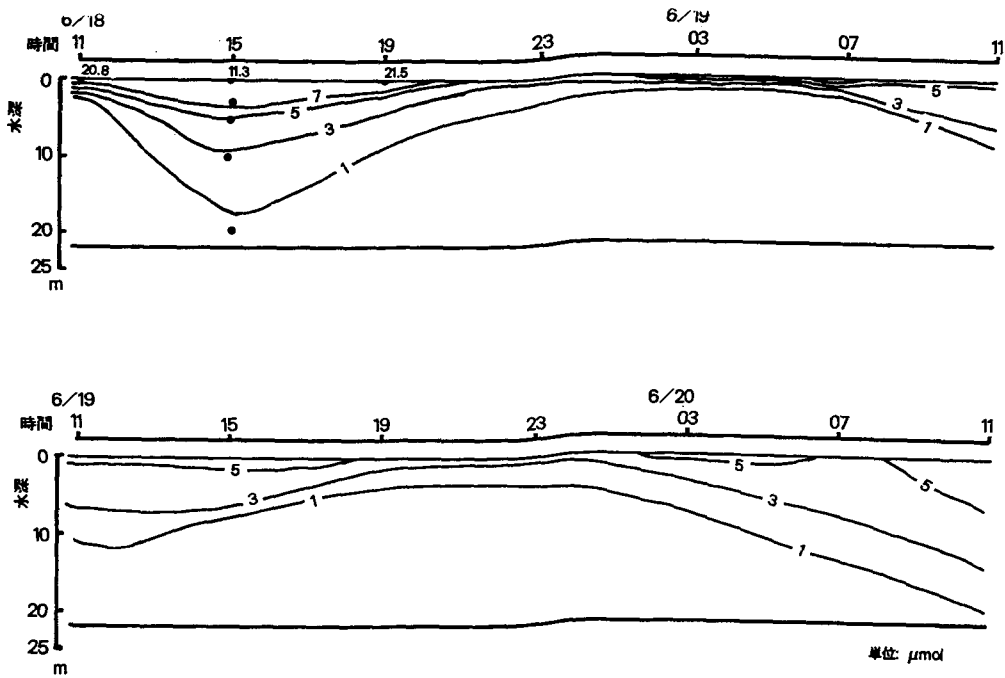


図10. 温海海域Stn.1におけるけい酸塩の変動(1993年6月18~20日)

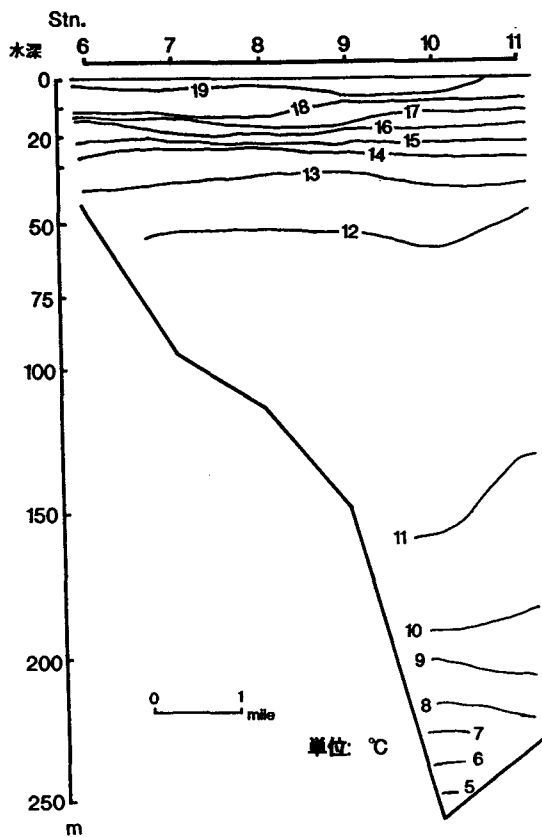


図11. 粟島西海域の水温の鉛直分布 (1993年6月21日)

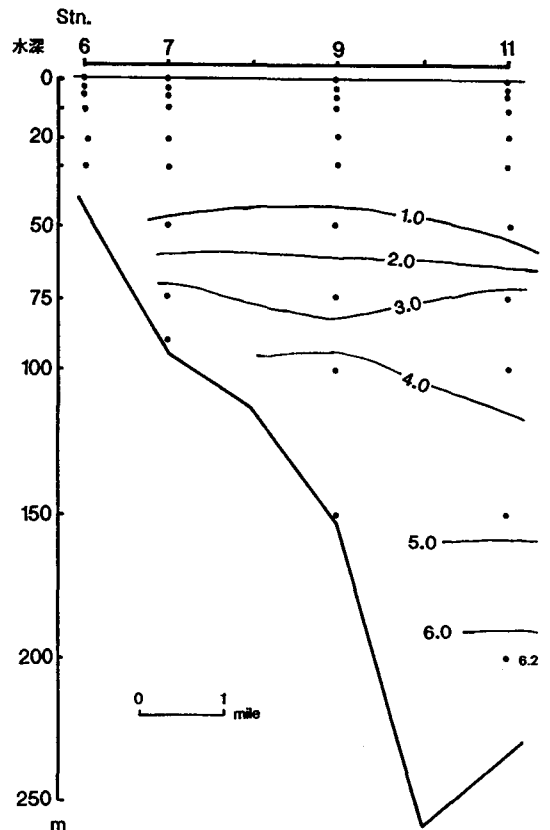


図12. 粟島西海域の硝酸塩 (亜硝酸塩を含む) の鉛直分布 (1993年6月21日)

ことから、この海域でも沖合底層水による栄養塩類の供給は考えられず、栄養塩類の供給は表層水によって行なわれているものと考えられる。しかし、粟島西海域ではりん酸塩同様、無機態窒素塩も検出限界以下であった。りん酸塩については比較できないが、窒素塩の供給不足が磯焼けの発生原因とは言えないが、藻場回復を遅らせている原因となっている可能性は指摘できる。

4. 考察

磯焼けが起こっている山形県温海町丹蔵下海域で、安定した高さのあるブロックの投入により、多年性の海藻の生育が確認された。この海域には多種多数の植食性動物が生息しており、その摂食の影響は無視できないものの、この海域で発生した磯焼けは漂砂による研磨作用、荒波による付着基盤である岩の反転によるものと推定された。したがって、温海海域のような海域では、漂砂の影響を受けないように海底より高さがあり、波浪による動揺しない付着基盤を設置すれば海藻群落の回復、増加は期待できるものと考えられる。また、漂砂を起動させる底層流を制御する方策を考えること、付着岩石を反転させる波浪を制御することも有効な手段であろう。また、この海域への栄養塩類の供給は平常は河川水の影響を受けた表層水によって行なわれ、荒天によって海が荒れた場合に沖合いの底層水からも供給されているものと推定された。温海海域では平常時は、河川から供給された栄養塩類が植物プランクトンによって吸収され尽くした表層水が到達しているが、少なくともアンモニウム塩は完全に欠乏することはないと考えられた。しかし、磯焼けが持続している粟島西海域ではアンモニウム塩も検出限界を下回っている。藻場海藻の栄養要求がどのようなかわからないが、窒素に関しては生存するためには常に供給されている必要があるとすれば、この窒素源に関する違いが海藻群落の回復に影響を与えている可能性がある。両海域でりん酸塩については常に検出限界、もしくはそれ以下であり言及できないが、この窒素源に関する可能性が事実

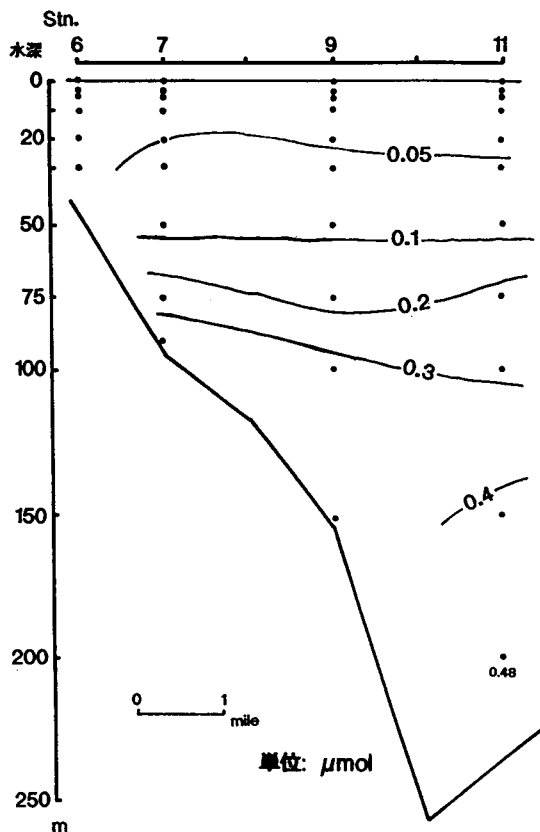


図13. 粟島西海域りん酸塩の鉛直分布 (1993年6月21日)

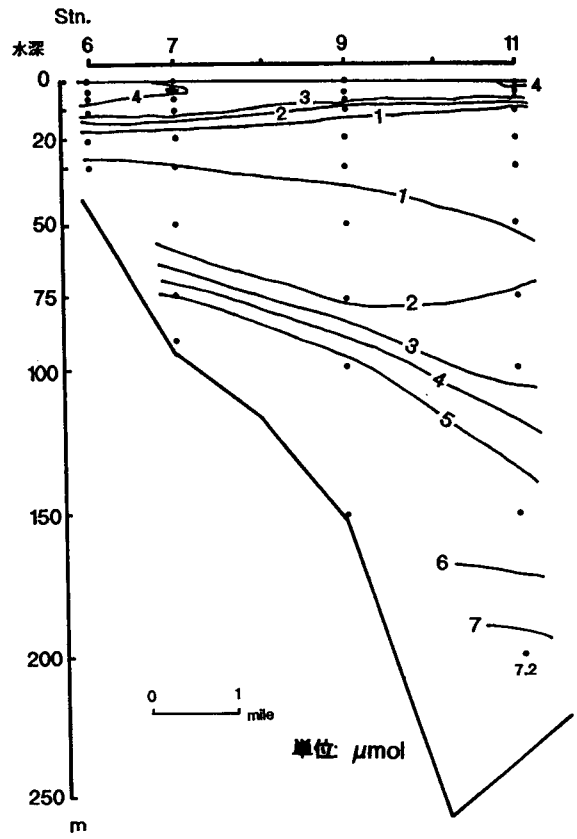


図14. 粟島西海域のけい酸塩の鉛直分布 (1993年6月21日)

とすれば、海藻の増殖を目的とした人工施設などの設置にあたってその海域への栄養塩類の供給経路、量について考慮する必要がある。この調査で、両海域ともに河川影響水によって栄養塩類の供給がなされていると考えられ、到達している河川影響水の起源が違うことが推定される。植物は窒素源として利用しやすい硝酸塩から利用し、アンモニウム塩の利用はその後になる。したがって、温海海域に到達している表層水と、粟島西海域に到達している表層水は起源が違っているものと考えられ、粟島西海域に到達している水はより時間が経過していることが推定される。したがって、栄養を供給する河川からその影響水が到達する時間がかかると考えられる場合、その効果の現れる可能性が低くなることが考えられる。

5. 摘要

- ① 対象とした温海海域の磯焼けは、漂砂による研磨作用、荒波による付着基盤である岩の反転によるものが主原因であると推定された。日本海側の岩礁域の磯焼け、もしくは海藻群落の形成されにくさの主要な要因と考えられる。
- ② 植食性動物群の摂食圧による海藻群落形成に対する影響は無視できないが、この調査では①の要因が大き過ぎ、個々に判定することはできなかった。
- ③ 植食性巻貝の体成分分析法は一応確立したが、その値による海藻摂食圧に関する調査研究には適当な手法ではなく、さらに、餌海藻に関する飼育実験などを重ねることによって、漁場評価、人工礁などの設置効果判定にはかなり有効な方法であると考えられた。
- ④ 対象とした海域を含む新潟県北部から山形県南部にかけての岩礁海域への栄養塩類の供給は、通常は河川水の影響を受けた表層水によって行なわれており、人工礁などの設置にあたっては事前調査などが必要である。
- ⑤ 藻場の形成に関して、現在の栄養塩類の分析法でその影響を検討するにはかなり難しい面があり、海

藻の栄養要求に関する知見を集積する必要がある。

6. 引用文献

- 1) 今野敏徳：私信
- 2) 本間仁一・平野央・斎藤祐，1996：磯焼け対策事業。平成6年度山形県水産試験場報告，p.49
- 3) 水産庁中央水産研究所生物機能部細胞生物研究室，1992：仔稚魚の生化学的研究のためのてびき。
- 4) 水産庁日本海区水産研究所資源増殖部増殖漁場研究室，1994：貝類の体成分分析。