

造成漁場におけるウニ類生産機構の解明

(増殖場造成事業効果調査)

地区名 北海道 浦河地区

対象生物 エゾバフンウニ、コンブ類

実施機関 北海道区水産研究所 資源増殖部

担当者 藻類増殖研究室 町口裕二

共同調査機関 北海道立函館水産試験場 室蘭支場

北海道日高東部地区水産技術普及指導所

北海道日高支庁 水産課

目的

海藻類ならびに海藻を餌料とするウニ類の生産増大を図るため、これまで多くの漁場造成事業が行われてきた。その中には、当初の期待通りの生産を上げているものばかりではなく、生産効果を発揮できないものもあり、その効果は必ずしも安定的なものとはいえない。生産効果が安定しない一因には、漁場の造成方法およびその後の管理、あるいは生産見込みが漁場内での効果発現機構に基づいていないことが考えられる。今後、新たな漁場造成・改良のため、さらに造成された漁場の効果的な利用、維持管理のためには、造成漁場内における生物生産機構を明らかにすることが不可欠である。本調査では、北海道浦河地区の造成されその後一定の効果を上げている大規模増殖場において、餌料海藻とウニとの「喰う食われる」関係を中心に、施設内でのウニ類生産機構を明らかにすることを目的としている。

調査概要

本調査は北海道日高支庁浦河町井寒台地先に昭和54-58年に造成された大規模増殖場を対象に選定した。ここでは昭和53年に事前調査、57年に中間調査が行われており、現在との比較が可能である。

調査項目

フィールド調査：造成された漁場の概要を把握するための漁場実態調査、ウ

ニ稚仔沈着量調査、漁場内のエゾバフンウニの年齢、成長などウニ個体の生物生産要素の収集するためのウニ生物生産調査、並びに海藻生産力調査を北海道立函館水産試験場室蘭支場、日高東部水産技術普及指導所、日高支庁水産課と共同で行った。

室内実験：エゾバフンウニの海藻種別の摂餌量および成長量、摂餌量におよぼす水温およびサイズ影響、さらに海藻類のカロリーやC/N比、全窒素量など栄養面も考慮した摂餌生態を明らかにするため室内実験を北水研が行った。

フィールド調査については、北海道が中心となり詳細な報告書が出されているので、本報告書では北水研が中心となって行った室内実験の結果について報告する。

報告に先立ち、現地調査及び実験用エゾバフンウニ、海藻の入手に便宜を図っていただいた浦河漁業協同組合、エゾバフンウニ人工種苗を提供していただいた宗谷漁業協同組合の各組合と組合員の皆様に厚くお礼申し上げます。

材料および方法

エゾバフンウニの海藻種別日間摂餌率および消化率の測定

実験に用いたエゾバフンウニは1989年6月に現地調査を行っている北海道浦河町井寒台地先の大規模増殖場内より潜水により採取し、北水研飼育実験室内の飼育水槽内でコンブ類を主な餌料として飼育蓄養したものをを用いた。

海藻類も可能な限りエゾバフンウニと同様大規模増殖場内より採取したものを北水研グリーンハウス内で蓄養したものをを用いたが、コンブについては使用する量が多く、採集、輸送および蓄養スペースの問題から、ミツイシコンブではなく北水研前浜産のナガコンブを用いた。

実験は'89年6月と'90年2月に、それぞれ1週間継続して行った。ウニはサイズ別にグループ分けして実験に用い、'89年6月では平均殻径および体重が40mm/30g、55mm/70g、65mm/110gの3グループに、'90年2月では45mm/40g、60mm/90g、70mm/130gの3グループに分け、それぞれ5個体ずつ20L黒色スチロール水槽に収容した。

餌料として用いた海藻は、造成漁場内の現地調査をもとに、漁場内で主要な海藻群落を構成し、現存量も多いものを選び、6月ではナガコンブ（褐藻）、アナアオサ（緑藻）、カレキグサ（紅藻）の3種を、2月には前述3種にクシベニヒバ（紅藻）を加えた4種とした。

水槽には2次ろ過海水を100ml/minで常時注水し、水温は調整せず成りゆきのままとした。実験期間中の水温は6月では10.0-10.5℃、2月では2.2-2.8℃の間で変動した。またウニは実験開始7日前より絶食とした。

毎日一定時刻（おおよそ16時頃）に1回、ペーパータオルで水分を除いて重量を測定した十分な量の海藻を与え、24時間経過後に残餌量を測定し新鮮なものとの交換した。また、1日2回（午前9時頃と午後15時頃）、水槽内にたまった糞をサイフォンによって回収した。

ウニの海藻摂餌量は、海藻給餌量と残餌量の差から求め、7日間の合計から日間摂餌率（ウニ体重1日当たり）を計算した。海藻消化率は、回収した糞と摂餌された海藻の量から次式によって求めたが、それぞれの値は乾燥重量とした。乾燥重量の測定は糞では回収したものを直接、各餌料海藻は給餌毎にその一部を切りとり、100℃で48時間乾燥させて行った。

$$\left((\text{総給餌量} - \text{総残餌量}) \div 7 \right)$$

$$\text{日間摂餌率} = \frac{\text{ } \times 100}{\left((\text{実験開始時の体重} + \text{実験終了時の体重}) \div 2 \right)}$$

$$\text{消化率} = \left[1 - \frac{\left(\text{総給餌量} - \text{総排泄量} \right)}{\left(\text{総給餌量} \right)} \right] \times 100$$

エゾバフンウニの海藻種別の成長および生殖腺重量の測定

エゾバフンウニの体重、殻径の増加量および生殖腺重量の餌料海藻による差を明らかにするため、前述のナガコンブ、アナアオサ、クシベニヒバ、カレキグサの4種の海藻類を餌料とした飼育実験を行った。実験には、井寒台大規模増殖場内で漁獲されるエゾバフンウニの大きさとほぼ等しい平均殻径57mmのウニを用い、実験期間は漁期の直前2カ月とし、'90年2月22日から4月24日までの60日間行った。

飼育方法は前述と同様で、期間中の水温は成りゆきとし2.2-5.5℃であった。実験終了後エゾバフンウニの体重、殻径を測定するとともに生殖腺重量を測定し、次式により生殖腺指数を計算した。

$$\text{生殖腺指数 (G. I.)} = \frac{\text{生殖腺重量}}{\text{体重}} \times 100$$

餌料海藻の栄養価とエゾバフンウニの成長

エゾバフンウニの成長と餌料海藻との関係を明らかにするため、ナガコンブ、アナアオサ、クシベニヒバ、カレキグサの4種の海藻についてカロリー、C/N比並びに、それらの海藻を餌料として飼育したエゾバフンウニの各部位のカロリー、C/N比を測定した。

実験に用いたウニは短期間で体成長の差が明瞭に現れることを考慮して、殻径45mm前後のものを用いた。実験期間は'90年3月26日から4月25日までの30日間、飼育方法および測定項目は前述の通りとし、水温は成りゆきで3.0-5.5°Cであった。各餌料海藻はそのまま乾燥粉末にし、ウニは殻、消化管、生殖腺の3部位に分けそれぞれ乾燥粉末とした後、カロリー値は熱研式デジタル熱量計L320型を用いて、C/N比および全窒素量は柳本CNコーダーMT-500型を用いていずれも常法により測定した。

エゾバフンウニ稚仔の餌料海藻による成長の差について

エゾバフンウニ稚仔の餌料海藻による成長の差を明らかにするためナガコンブとアナアオサを餌料として'90年7月から'91年11月までの16カ月間の長期間飼育を行った。実験に用いたエゾバフンウニ稚仔は天然漁場から得られなかったので、稚内産の人工種苗(平均殻径6mm体重0.1g)を用いた。飼育方法は前述の通りとし、毎月1回体重と殻径を測定した。

結果および考察

エゾバフンウニの餌料海藻種別の日間摂餌率および海藻消化率を表-1、2に示した。エゾバフンウニの海藻摂餌率は海藻種によって大きく異なりコンブの摂餌率が最も高いこと、また小型ウニほど高いことがこれまでの研究から明らかになっているが^{1, 2)}、ここでも同様の結果となった。水温はエゾバフンウニの摂餌には大きな影響を与えないとする報告^{1, 3)}もありその解釈が難しいが、本実験ではいずれの海藻にたいしても、2月(2.5-2.8°C)の摂餌率は6月(10.0-10.5°C)の摂餌率に比べて大きく減少した。コンブの摂餌率では1/2以下、アナアオサの摂餌率では1/5まで低下し、とくに造成漁場内に多くみられるカレキグサは低水温下ではほとんど摂餌されないことが明かとなった。これとは別に後述のエゾバフンウニ人工種苗を用いた長期間飼育の結果では、殻径10-30mmの範囲では水温とは無関係に摂餌、成長しており、ウニの発育段階のある時期では水温の影響をあまり受けない可能性がある。しかし、三本菅らは羅臼産のエゾバフンウニおよび米国産のキタムラサキウニについて、低水温下では摂餌率が大きく減少することを報告しており²⁾、水温の影響は少ないとする実験結

果との違いはウニの飼育条件の違い（本実験および三本菅らの実験は二次ろ過海水のかけ流しに対し、他は循環ろ過水による飼育）や実験に用いたウニのサイズの差ではないかと考えられる。エゾバフンウニの海藻摂餌量は成熟度などにも影響を受けることも指摘され、また海藻の化学成分も摂餌量を制限する要因とされており、低水温下での摂餌率の低下は単純に水温に帰着することはできないが、水温は直接、間接的にウニの摂餌活動に影響を与えているであろう。

表-1 エゾバフンウニの海藻摂餌率 (%)

ウニ サイズ	6月 (10-10.5°C)			2月 (2.2-2.8°C)		
	30g	70g	110g	40g	90g	130g
ナガコンブ	10.3	4.3	3.9	3.4	2.0	2.1
アナアオサ	2.8	2.1	1.3	0.5	0.4	0.3
クシベニヒバ	-	-	-	0.7	0.5	0.3
カレキグサ	2.0	1.1	0.6	0.0	0.0	0.0

表-2 エゾバフンウニの海藻消化率 (%)

ウニ サイズ	6月 (10-10.5°C)			2月 (2.2-2.8°C)		
	30g	70g	110g	40g	90g	130g
ナガコンブ	52.2	59.4	55.7	62.2	55.5	56.5
アナアオサ	71.5	77.6	67.4	41.1	33.9	35.0
クシベニヒバ	-	-	-	56.6	51.0	60.2
カレキグサ	83.1	81.1	68.2	-	-	-

海藻の消化率はコンブでは6月、2月とも52-62%、クシベニヒバでは2月に51-60%、であったが、アナアオサでは6月に67-77%だったのが2月には34-41%と大きく低下した。またカレキグサでは6月に68-83%と他の海藻と比較して高い値を示したが、2月では摂餌された量が極僅かで糞が回収されなかったため測定できなかった。2月のアナアオサ消化率の低下はウニのサイズにかかわらず起こっているが、水温の低下によって直接引き起こされたものなのか、あるいはアナアオサの成分等が6月に比べて変化した結果なのかは、この実験からは明かではない。

エゾバフンウニの餌料海藻種別の成長および生殖腺指数を表-3に示した。4種の海藻を餌料とした場合のエゾバフンウニの殻径、体重の増加量はそれぞれ、ナガコンブで1.4mm 8.8g、アナアオサで0.7mm 4.7g、クシベニヒバで0.7mm 4.5g、カレキグサでは殻の成長は認められず体重で2.4gの増加であり、殻径、体重とも増加量の最も大きかったのはナガコンブを餌料とした場合で、アナアオサやクシベニヒバを餌料とした場合の殻径で約2倍、体重で約1.8倍、カレキグサの約3倍の体重増加量であった。同様に生殖腺指数（湿重量）もナガコンブを餌料とした場合が19.3と最も高く、アナアオサで17.9、クシベニヒバで17.2、カレキグサでは13.1と最も低い値を示した。

表-3 餌料海藻別のエゾバフンウニの成長

海藻種	ナガコンブ	アナアオサ	クシベニヒバ	カレキグサ
殻径/体重(mm/g)a	57.32/86.61	57.58/88.12	57.56/88.46	57.50/86.43
殻径/体重(mm/g)b	58.75/94.72	58.36/92.86	58.33/92.97	57.43/89.17
増加量 a-b	1.43/ 8.11	0.78/ 4.74	0.77/ 4.51	-0.07/ 2.74
総摂餌量 (g/ind.)c	115.39	19.18	31.80	2.61
生殖腺重量(g)	18.37	16.74	17.60	10.85
生殖腺指数	19.36	17.92	17.23	13.18
餌料効率 d	7.02	24.71	14.18	-

a: 実験開始時('90, 2, 22) b: 実験終了時('90, 4, 25)

c: ウニ1個体当たり d: 増重量/総摂餌量×100

体重や殻径、生殖腺の増加量の多寡は当然海藻摂餌量に起因する。60日間を通算したウニ1個体当たりの海藻総摂餌量はナガコンブで115.3g、アナアオサで19.1g、クシベニヒバで31.8g、カレキグサでは2.6gとナガコンブの摂餌量が他海藻と比べて圧倒的に多かった。海藻1gが体重に変わる割合、すなわち転換効率はナガコンブで7.0%、アナアオサで24.7%、クシベニヒバでは14.1%となり、効率の面ではコンブはあまり良くなかった。しかし、エゾバフンウニはコンブを非常に良く摂餌し、転換効率の低さを量でカバーするという摂餌生態を示した。この結果は、後述の海藻の栄養価とエゾバフンウニの成長との実験結果とも関連し、ウニの摂餌生態を考える上で重要である。また、カレキグサを餌料とした場合の体重増加量が摂餌量を上回るという興味深い結果が得られた。外国産のウニでは体の維持に必要な栄養を海水中に溶けている有機物から得ることができると報告されており⁴⁾、またエゾバフンウニも低餌料条件に耐え、絶食状態で1年、付着珪藻が豊富であれば2年以上海藻がなくても生存できることから(町口未発表)、この場合カレキグサ以外の実験水槽壁面の付着珪藻や海水中の有機物を有効に取り込んだことが考えられる。

餌料海藻のカロリー値、C/N比、全窒素量とエゾバフンウニの成長量および各部位のカロリー値、C/N比を表-4に示した。ナガコンブを除くアナアオサ、クシベニヒバ、カレキグサのC/N比および全窒素量には大きな差はなかったが、ナガコンブでは他海藻に比べC/N比で約2倍、全窒素量は1/2と大きく異なった。また、カロリー値でもナガコンブは他海藻に比べて低い値を示

表-4 海藻およびエゾバフンウニのC/N比並びにカロリー値

		餌料海藻			
		カレキグサ	クシベニヒバ	ナガコンブ	アナアオサ
海藻C/N比		6.35	6.61	12.04	7.54
窒素含量	%	4.93	4.75	2.48	4.91
海藻カロリー		3215	3242	2872	3937
総摂餌量	g	1.89	3.87	38.79	5.19
殻径	mm	44.80	47.20	47.70	47.33
体重	g	41.60	48.90	51.10	49.10
増加量	mm	0.27	1.40	1.57	0.37
増加量	g	0.63	1.29	3.95	1.73
生殖腺重量	g	5.31	7.85	11.06	8.28
生殖腺指数wet		11.60	14.35	19.12	16.09
生殖腺指数dry		7.35	10.77	16.55	12.70
消化管重量	g	2.46	3.88	3.70	3.19
消化管指数wet		5.05	7.19	6.17	5.61
消化管指数dry		2.83	4.06	4.15	3.22
ウニC/N比					
殻	乾重1g当り	16.68	14.80	13.74	14.91
生殖腺	乾重1g当り	4.34	4.81	5.45	5.94
消化管	乾重1g当り	4.41	4.79	6.05	5.21
ウニカロリー					
殻	乾重1g当り	485	495	493	466
生殖腺	乾重1g当り	4419	4654	4610	4957
消化管	乾重1g当り	4631	5017	5597	5031

N=3, 30day W.T. 5-8°C

し、クシベニヒバやカレキグサの約9割、アナアオサの約7割のカロリーしかなかった。このようにナガコンブは、実験に用いた他の海藻に比べてかなりの低窒素量、低カロリーであり、栄養面で大きく劣っているように思われる。しかしながらこれまでの実験からも明らかなようにエゾバフンウニはコンブに対して高い摂餌率、成長量を示した。ウニの殻、生殖腺、消化管の部位別のカロリー、C/N比は餌料とした海藻のカロリー、C/N比を反映しなかった。特に消化管のカロリー値はナガコンブを餌料としたものが最も高く、アナアオサやクシベニヒバの1割、カレキグサの2割増の値を示した。このナガコンブを餌料としたウニの消化管が高カロリー値を示した理由として、C/N比が最も高かったことや乾燥試料の性状からみて脂質含量が高かったためと思われる。脂質は貯蔵エネルギー源として重要であり、エゾバフンウニにとってコンブは極めて優れた餌料といえる。

低カロリー、低窒素量のコンブがウニにとってなぜ最も優れた餌料となるの

か、なぜコンブに対して高い嗜好性を示すのであろうか？コンブとウニの双方に、この間に答える鍵があるようである。コンブは他海藻に比べてC/N比が高く、全窒素量が低い、C/N比の高さは炭素の量が窒素の量に比べて多いことを表しており、この炭素の多くはコンブの場合、アルギン酸などの多糖類と糖アルコールであるマンニトールと考えられ、両者を合わせた含有量はコンブの乾重当たりで50%を越えることもある。また、窒素源の大部分はタンパク質ではなく、遊離アミノ酸とされている。ウニ類は消化酵素は持っているものの、その活性は極めて低いかあるいは痕跡程度とする研究が多く⁴⁾、消化管も同じ植食動物である巻き貝類に比べ非常に単純であり、糞も海藻の原型を保っていることが多い。またウニの消化管内には微生物が多くみられ、特にエゾバフンウニではアルギン酸など多糖の分解には微生物の関与が不可欠とされている（矢野未発表）。このように自らの消化酵素の働きがあまり活発でないウニにとって、可溶性の糖類やアミノ酸（いわゆるタンパク質が分解された形）が多く含まれるコンブはかじり取るだけで栄養分が滲みでてくる極めて利用しやすい海藻であることが考えられる。

これまで述べてきたことは、いずれも30-60日程度の比較的短期間の実験結果からであった。次にナガコンブとアナアオサを餌料として、エゾバフンウニ人

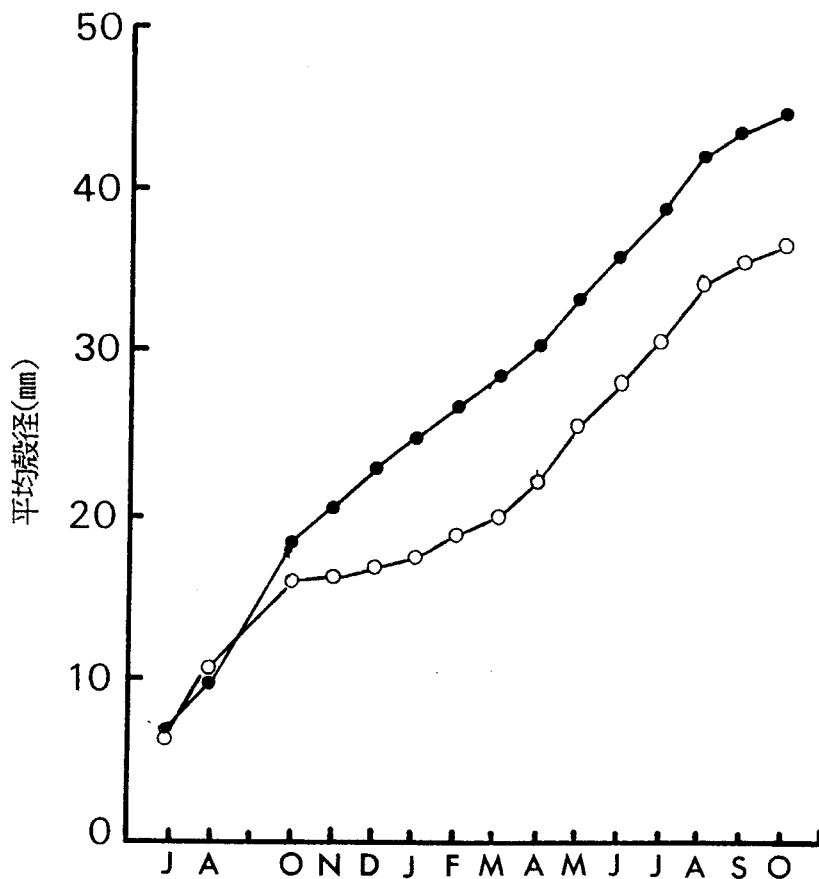


図-1 エゾバフンウニ稚仔殻径の成長 ●:ナガコンブ、○:アナアオサ

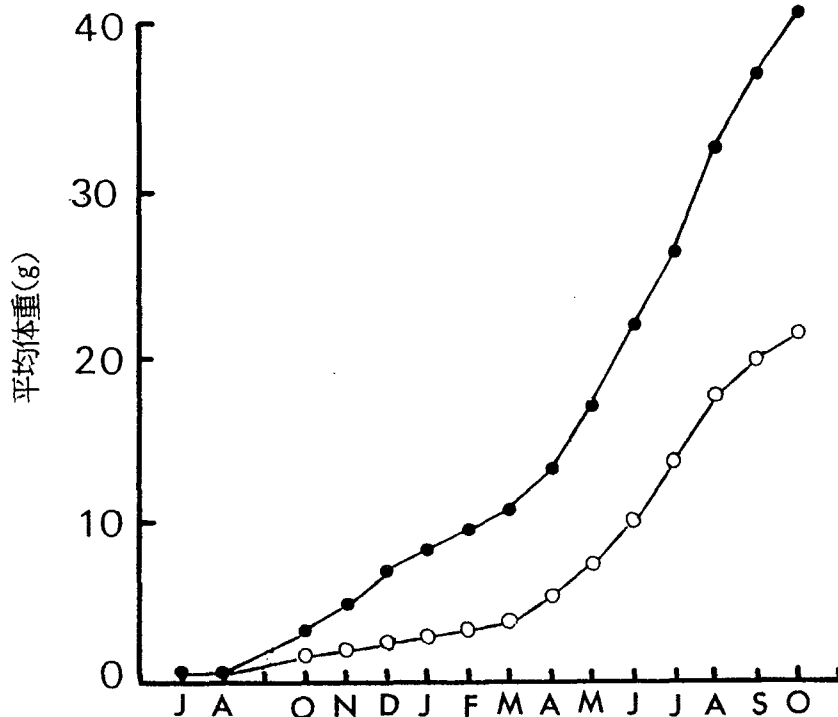


図-2 エゾバフンウニ稚仔体重の成長 ● : ナガコンブ、○ : アナアオサ

工種苗を16カ月間飼育した結果を図-1、2に示した。実験開始時に平均殻径6mm、平均体重0.1gだったものが16カ月後には、ナガコンブを餌料とした場合平均44mm、38g、アナアオサを餌料とした場合では36mm、21g、と殻径で8mm、体重で17gの差がついた。特に10月以降翌年3月までの水温下降期でアナアオサを餌料とした場合成長の停滞が著しかった。これは、前述の海藻消化率の実験で低水温期のアナアオサの消化率が大きく低下したこととも関連があると思われる。

一方、実験初期の殻径10mm未満ではコンブよりアナアオサを餌料としたウニの方が成長が良かった。このことを確認するため、浦河産のエゾバフンウニ人工種苗を用いて再度飼育実験を行った結果を表-5に示した。その結果、平均殻径5.1mm、平均体重0.05gのエゾバフンウニ稚仔は、ナガコンブを餌料とした場合28日間で1.05g摂餌し殻径で2.1mm、体重で0.11g増加したのに対し、アナアオサを餌料とした場合同様に0.52g摂餌し2.8mm、0.15g増加した、すなわちアナアオサはコンブの1/2の摂餌量でもコンブ以上の成長エゾバフンウニ稚仔にもたらしたことになる。このことは、同一海藻でもエゾバフンウニの発育段階で餌料価値が大きく異なることを、またウニ自身の消化吸收機構も発育段階で変化していることを示している。

表-5 餌料別のエゾバフンウニ稚仔の成長

海藻種	ナガコンブ	アナアサ
殻径/体重(mm/mg)a	5.14/52	5.13/50
殻径/体重(mm/mg)b	7.24/167	7.94/200
増加量 a-b	2.10/115	2.81/150
総摂餌量 (mg/ind.)c	1058	524
餌料効率 d	10.9	28.7

a: 実験開始時('91,8,23) b: 実験終了時('91,9,20)

c: ウニ1個体当たり d: 増重量/総摂餌量×100

まとめ

以上、平成元年から2年度の成果並びに3年度の調査結果から、北海道浦河地区に造成された大規模増殖場において、エゾバフンウニの餌料として利用している海藻はミツイシコンブとクシベニヒバ、アナアサが主であり、これらの海藻は造成漁場内に生育する主要海藻であることが明かとなった。井寒台でのエゾバフンウニの生殖腺指数は周年を通じて、天然漁場に比べ造成漁場の方が高かった。このことは、天然漁場と比較して造成漁場内では常に海藻現存量が多く、コンブ以外の海藻、特にクシベニヒバの着生量が大きく漁場全体の生産力をかさ上げしていることが考えられる。しかしながら、飼育実験あるいは漁場内のウニの消化管内容物の組成等から見て、餌料としてウニの生産を支えている最も重要な海藻はコンブであることが明かとなった。また、造成漁場内に多くみられるカレキグサはエゾバフンウニにはほとんど利用されないことが明かとなった。カレキグサは多年生であり、造成漁場では造成後の年数の経過と共にコンブに替わってその数を増す傾向にある。カレキグサの優占する漁場はコンブ生産が上がらないのはもちろんのこと、ウニにとっても劣悪な餌料環境といえよう。

問題点

本調査を通して、北海道太平洋沿岸のウニ漁業に関して非常に大きな問題が明かとなった。昭和53年度に行われた浦河地区における大規模増殖場造成のための事前調査では、エゾバフンウニの殻径組成は10mm程度の若齢個体から70mm以上の老齢個体まで多峰型を示し、また昭和57年の同造成漁場のウニ用稚仔沈着場では25個体/m²以上にウニの着生をみていた。しかし、本調査では3年の調査期間中の全調査点を通じて20mm以下の若齢個体は僅かに8個体しか発見されていない。この傾向は北海道太平洋沿岸全域でみられており、現在、

漁業の対象になっているウニのほとんどは深淺移植にたよっているが、深所にいる瘦せウニもその数を急速に減らしている。現状を放置しておけば時を経ずして急激な漁獲量の減少が予想される。この原因を取り過ぎと結論してしまうのは簡単であるが、日高沿岸の漁協では以前から関係機関の協力のもと綿密な資源量調査に基づいた漁獲制限を行っており、単に取り過ぎというよりウニ自身の生物学的な要因が大きい可能性がある。地元自治体、漁組では独自にウニ種苗生産施設を建設し資源回復、漁獲の安定をめざして努力しているものの、ウニ人工種苗放流技術はまだ安定したものには至っていない。

しかし、現在のようにエゾバフンウニ稚仔の天然発生が期待できない状況下で、エゾバフンウニ漁業を維持させていく為には、人工種苗放流に頼る以外方法はないと思われる。これまで先駆的になされてきたエゾバフンウニ人工種苗の放流試験では、地域によって非常ばらつきが大きいものの場所によっては高い生残率、成長率を示している。今後は、さらに稚ウニから成ウニまでの発育段階での生物学的な特性を詳細に明らかにする必要があると共に、ウニの生態に合わせた餌料環境や生息環境を整備することにより、種苗放流から生産までの一貫した漁場づくりが可能となるであろう。

引用文献

- 1) 富士 昭 (1969): 北海道のウニとその増殖、水産増養殖叢書 21、77pp.
日本水産資源保護協会
- 2) 三本菅善昭、町口裕二、嵯峨直恒 (1987): ウニ食害作用の海藻群落形成への影響解明、昭和61年度沿岸漁場整備開発事業に関する水産研究所研究報告 120-136、水産庁振興部開発課
- 3) 川村一広、林 忠彦 (1965): エゾバフンウニの摂餌、成長、成熟におよぼす水温の影響について、北水試 月報 22(3)、117-127
- 4) Jangoux, M and J.M. Lawrence (Ed.)(1982): ECHINODERM NUTRITION, 654PP. A.A.BALKEMA PUBLISHERS, ROTTERDAM