

結 果

1 漁獲実態

1965年～1995年における宮城県、岩手県、青森県、北海道のエゾアワビ漁獲量の推移を図6-1に示す。宮城県における近年のエゾアワビ漁獲量は最高855トン(1969年)、最低84トン(1990年)、平均450トンであり、その推移は1970年代は 607 ± 86 トン(平均 \pm SD)、1980年代は 322 ± 134 トン、1990年代は 113 ± 23 トンと経年的に減少し、低迷状態が続いている。

なお、宮城県における人工種苗由来のエゾアワビ漁獲量は1980年以降毎年100～150万個体の種苗放流が実施されていることから、放流後の回収率10%(佐々木ら1987)を乗じるとその量は10～15トンとみなされる。

エゾアワビ漁獲量の変動は宮城県と岩手県、青森県、北海道の間に一定の相関があり、1965年～1995年における決定係数 r^2 は隣接する宮城(y)と岩手で $y = 1.65x$ ($n = 30, r^2 = 0.82, p < 0.001$)と最も高く、次に宮城(y)と青森(x)で $y = 0.28x$ ($n = 30, r^2 = 0.70, p < 0.001$)、そして宮城(y)と北海道(y)で $y = 0.74x$ ($n =$

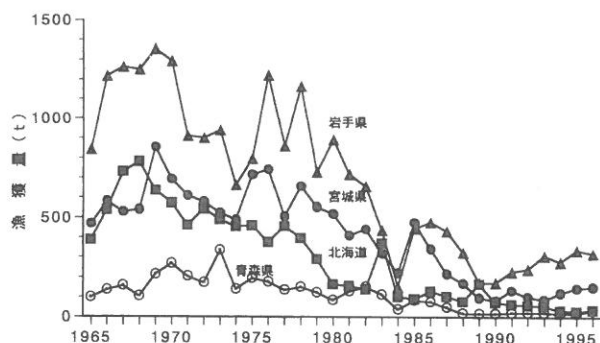


図6-1 北海道、東北各県におけるエゾアワビ漁獲量の推移

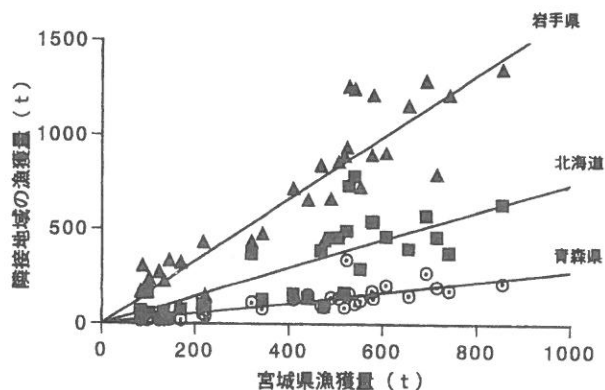


図6-2 宮城県と隣接地域間(岩手県、青森県、北海道)におけるエゾアワビ漁獲量の関係

30, $r^2 = 0.61, p < 0.001$)と次第に低くなっている(図6-2)。したがって、漁獲量の変動については宮城県と岩手県間の高い相関関係から両県すなわち三陸沿岸域一帯に共通する要因が働いていると考えられる。

次に、宮城県内ではエゾアワビ漁獲量の多い歌津町海域について1965年～1995年における歌津町(y)と宮城県(x)の漁獲量の相関をみると $y = 0.14x$ ($n = 31, r^2 = 0.90, p < 0.001$)の密接な関係が示された(図6-3)。よって、歌津町、宮城県、岩手県間における漁獲量変動の高い相関から、歌津町海域の漁獲統計資料を基に近年の三陸沿岸域におけるエゾアワビ漁獲量の低落傾向を検討した。

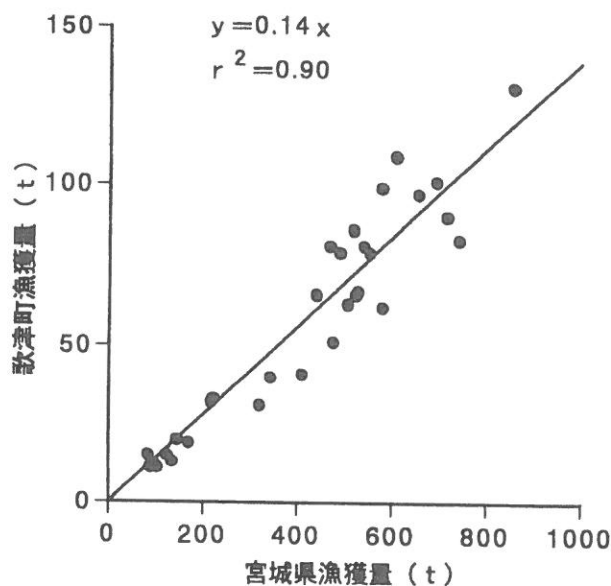


図6-3 1965～1995年における宮城県と歌津町のエゾアワビ漁獲量の関係

図6-4は各年の歌津町アワビ漁開口時ごとの1日1隻当たり漁獲量と累積漁獲量の関係であり、漁獲量が最低水準に低落した1990年、1991年、1993年は回帰直線のあてはめが悪く $r^2 < 0.1$ となった。表6-1はデラリー法の回帰式より求めた1975年～1994年における初期漁獲対象資源量、利用率の推定値である。デラリー法は単位努力当たりの漁獲量(CPUE)が資源量に比例し、資源が漁獲のみで減少していくと考え、その時間的な減少傾向を利用して初期漁獲対象資源量、利用率(見かけの漁獲率)を推定するものである(能勢ら1988)。回帰直線の適合性(決定係数 r^2)は1980年代の漁獲量の減少にともない低下したので(表6-1)、有意水準 $p < 0.01$ の年について平均利用率を算出すると81%となった。よって、決定係数 r^2 の低い1984年、1987年以降1993年までについてはそれぞれの漁獲量を平均利用率0.81で除して初期漁獲対

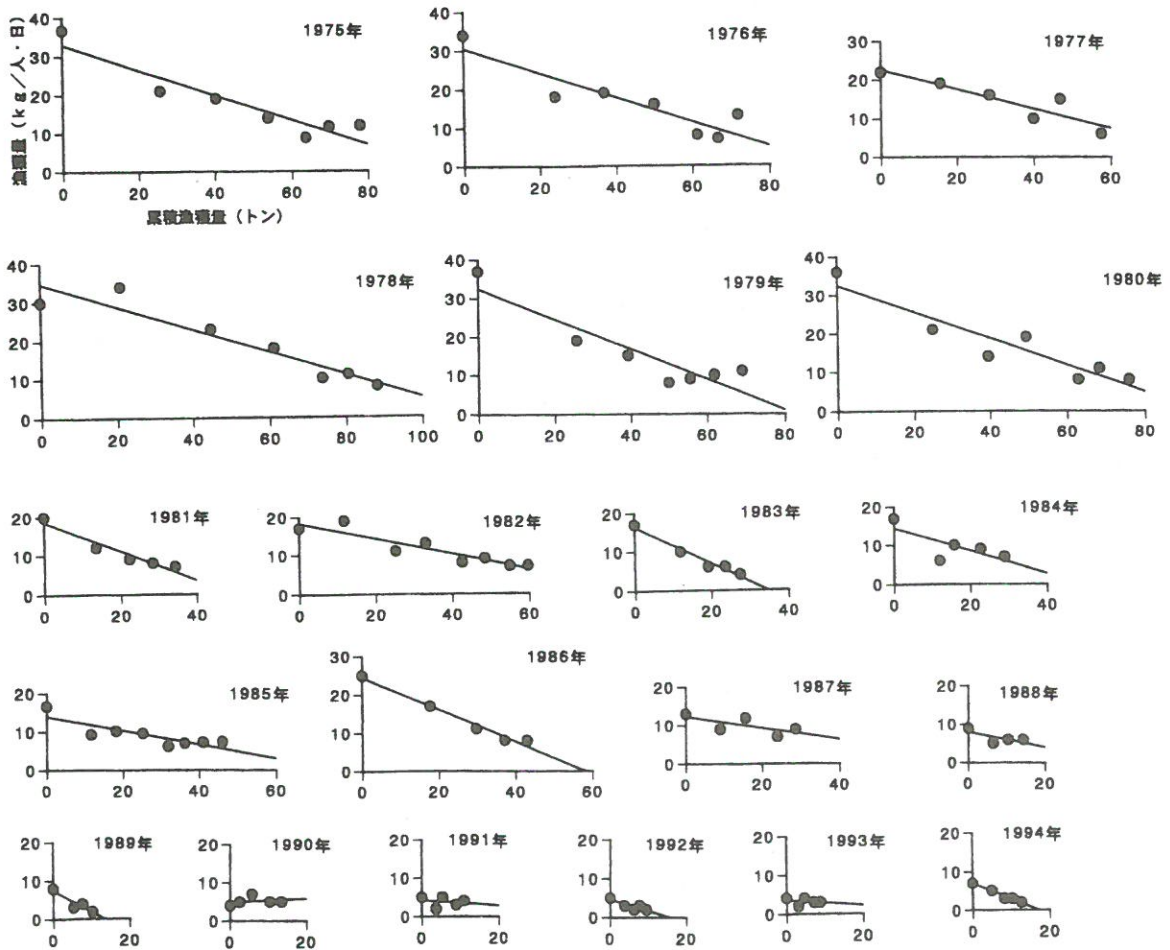


図6-4 1975~1994年の歌津町アワビ漁開口時における1日1隻当たり漁獲量(y軸:kg)と累積漁獲量(x軸:トン)の関係

表6-1 歌津町アワビ漁獲量の経年変化とデラリー法による初期漁獲対象資源量の推定

年	宮城県 漁獲量(t)	歌津町 漁獲量(t)	開口 回数	デラリー法回帰式	決定係数 r^2	初期漁獲 資源量(t)	利用率 (%)
1975	716	90	7	$y = -0.32x + 33$	0.88	102	88
1976	742	83	7	$y = -0.32x + 31$	0.83	96	86
1977	507	63	6	$y = -0.25x + 22$	0.83	90	70
1978	656	97	7	$y = -0.30x + 35$	0.90	117	83
1979	553	79	7	$y = -0.39x + 33$	0.84	82	96
1980	519	86	7	$y = -0.35x + 33$	0.88	94	91
1981	410	41	5	$y = -0.38x + 19$	0.93	50	82
1982	441	66	8	$y = -0.20x + 18$	0.85	91	73
1983	320	31	5	$y = -0.47x + 16$	0.97	35	89
1984	222	33	5	$y = -0.29x + 14$	0.55	49	67
1985	476	51	8	$y = -0.18x + 14$	0.72	77	66
1986	343	40	5	$y = -0.42x + 25$	0.98	58	69
1987	217	32	5	-	0.48	-	-
1988	170	19	4	-	0.49	-	-
1989	98	12	4	$y = -0.55x + 8$	0.85	14	86
1990	84	15	5	-	<0.1	-	-
1991	134	13	5	-	<0.1	-	-
1992	102	11	5	$y = -0.29x + 16$	0.76	16	69
1993	88	11	5	-	<0.1	-	-
1994	123	14	5	$y = -0.41x + 7$	0.97	17	82

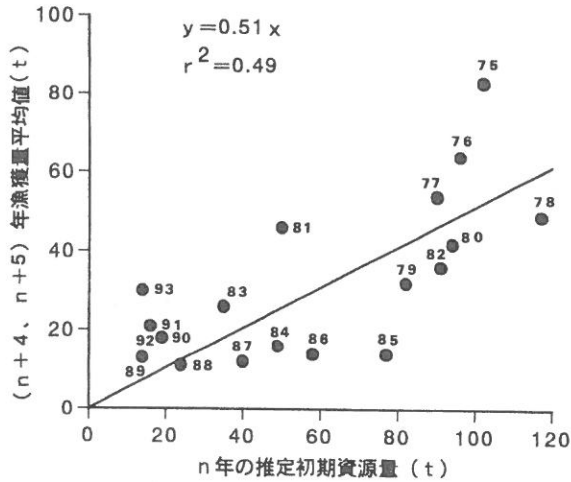


図6-5 歌津町アワビ漁開口時における1975~1993年のn年初期漁獲対象資源量と(n+4, n+5)年平均漁獲量の関係

象資源量を求めた。

これら各年の漁獲量は近年のエゾアワビ資源状態を反映していると考えられ、前述した1975年~1993年の歌津町海域におけるアワビ漁獲量の経年変化から再生産関係を検討した。漁獲対象貝の年齢組成は近隣の雄勝町海域における1983年~1985年のアワビ漁開口時測定資料より4歳貝40%、5歳貝33%、6歳貝16%、7歳以上貝11%であることから(高橋ら1987)、その主群は4歳、5歳貝とした。よって、n年の初期漁獲対象資源量を母貝量の指標、そして(n+4年, n+5年)漁獲量平均値を加入量の指標と仮定した場合の両者の関係を図6-5に示した。資源水準の高かった1970年代からその後次第に低下した1980年代以降にかけて両者間には直線的な関係として $y = 0.51x$ ($n=19, r^2=0.49, p<0.001$) が認められた。

2 資源特性値の推定

宮城県北部海域におけるエゾアワビ貝殻上に形成された輪紋長の平均殻長はそれぞれ第1輪: 55 ± 5 mm, 第2輪: 76 ± 6 mm, 第3輪: 90 ± 6 mm, 第4輪: 101 ± 6 mm, 第5輪: 110 ± 7 mm, 第6輪: 117 ± 7 mm, 第7輪: 122 ± 6 mmと測定された。クオアワビでは第1輪紋の形成は満2歳時に対応することが確認されていることから(小島1976), エゾアワビでも同様に各輪紋数に1を加えた値を実年齢とすると、その年齢別平均殻長は2歳: 55mm, 3歳: 75mm, 4歳: 90mm, 5歳: 101mm, 6歳: 110mm, 7歳: 117mm, 8歳: 122mmとなる。これらの値をバータランフィ成長式に適用すると、 $L_{\infty} = 137(1 - \exp^{-0.29(t-0.31)})$ が得られた。

次に、資源特性値として重要な全減少係数Zを求めるため、1992年県北部海域各地のアワビ漁開口時における漁獲対象貝と潜水調査時における採集貝の殻長組成の測定結果を示した(図6-6)。漁獲貝の殻長測定については操業終了後の岸壁水揚げ時とカギ採り操業時とを比較

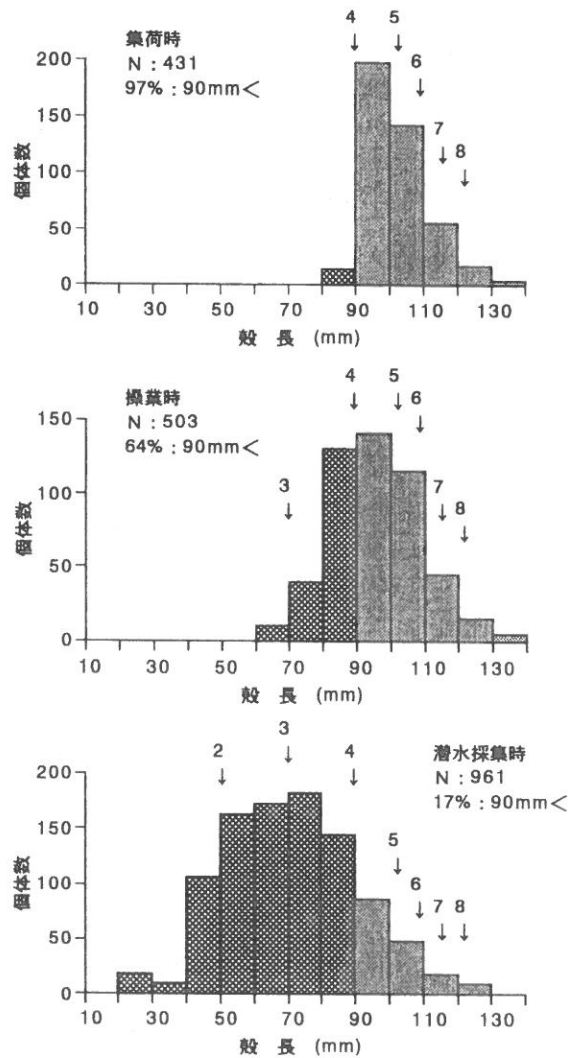


図6-6 エゾアワビの漁獲開口時(操業・集荷)と潜水採集時の殻長組成(↓数字は各年齢を示す。1992年)

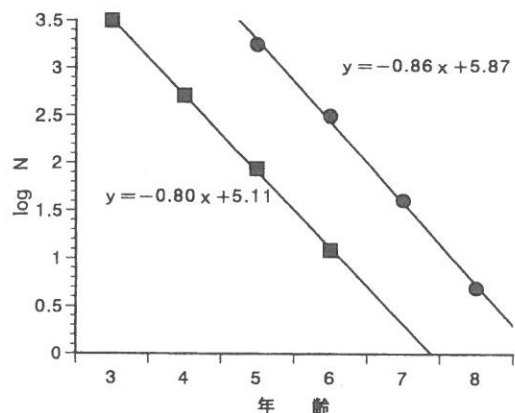


図6-7 エゾアワビの各年齢別出現比率 (●: 開口時漁獲貝, ■: 潜水調査採集貝)

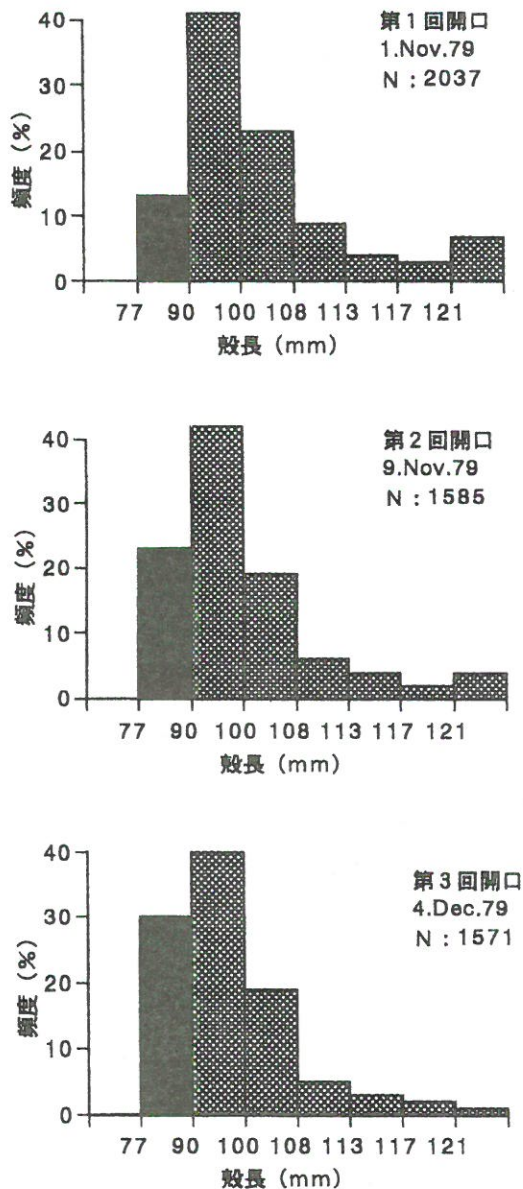


図6-8 1979年漁期の開口時別エゾアワビ殻長組成の推移

したが、岸壁水揚げ時の殻長組成は平均殻長105mmで4～6歳貝が漁獲主体であったのに対し、操業中の測定区については平均殻長95mmで殻長90mm未満の3歳貝の混獲が約1/3を占めていた。

各年齢群が多く含まれる操業時測定区の漁獲貝殻長組成を上記の年齢別平均殻長により各年齢別構成比に置換すると3歳以下貝:20%, 4歳貝:37%, 5歳貝:26%, 6歳貝:13%, 7歳貝:2%, 8歳以上貝:2%となった。また、前章の県北部海域における若齢貝～成貝を対象とした潜水採集による殻長組成資料についても同様に各年齢別構成比に置換すると2歳以下:38%, 3歳:33%, 4歳:15%, 5歳:7%, 6歳:3%, 7歳以上:4%となり、漁獲対象となる90mm以上貝の含有率は17%であった。

図6-7にアワビ漁開口時の漁獲貝殻長組成と潜水全量採集時の殻長組成よりそれぞれ完全加入サイズ群である5～8歳と3～6歳の各年齢(x)における出現値(N_x)を示した。得られた両者の対数回帰式 $\log N_x = -0.86x + 5.87$ ($n = 4, r^2 = 0.99, p < 0.01$), $\log N_x = -0.80x + 5.11$ ($n = 4, r^2 = 0.99, p < 0.001$) から近似した勾配値, すなわち全減少係数Zが得られたので, ここでは漁獲対象群資料に基づいた $Z = 0.86$ を採用した。

なお, 図6-8はアワビ資源の減少がまだ表面化しなかった1979年当時の宮城県中部海域における漁獲対象貝の殻長組成である(宮城県1981)。各漁獲開口時ごとの殻長90mm未満のアワビの出現率は第1回目13%, 第2回目23%, 第3回目30%と次第に増加し, 小型貝への漁獲強度がすでにこの当時より相当高かったことが認められた。そして, これら漁獲貝の殻長組成についても全減少係数を3回通算値から求めると $Z = 0.70$ が得られた。

自然死亡係数Mについては既往のMに関する知見より推定した。井上ら(1976)によると3歳以上の放流マダカアワビの年間生残率Sについては $S \approx 0.85$ と報告していることから, $S = e^{-M}$ より $M = 0.16$, よって漁獲係数Fについては $F = Z^{-M}$ より $F = 0.70$ と推定した(ケース1)。また, 高橋ら(1987)は放流エゾアワビの再捕率, 寿命, バイオマス曲線の関係から $S \approx 0.70$ と報告していることから, 同様に $M = 0.36$, $F = 0.50$ と推定した(ケース2)。

漁獲開始年齢 t_c については上述のアワビ漁開口時の操業実態より3歳とした。そして, 加入年齢 t_r についても漁獲開始年齢 t_c と同じ3歳とした。

成熟年齢 t_m については第2章でみたとおり, 3歳個体の生殖巣はまだ皮膜状であり, 抱卵量が 10^4 粒なのに対し4歳個体では $10^5 \sim 10^6$ 粒で雌雄判別も確実になることから, ここでは4歳とした。

3 資源診断

宮城県沿岸域のエゾアワビ資源管理方策の検討に必要な加入あたり漁獲量(YPR)と加入あたり産卵母貝量の減少比率に関する解析結果を以下に示す。前述した漁獲実態における資源特性値より自然死亡係数 $M = 0.16$ (漁獲係数 $F = 0.70$)と $M = 0.36$ ($F = 0.50$)の2ケースについて検討した。

図6-9は $W_t = 360(1 - e^{-0.29(t-0.31)})^3$, 加入年齢 $t_r = 3$, 成熟年齢 $t_m = 4$, 漁獲最高年齢 $t_s = 15$ として漁獲開始年齢 $t_c = 1 \sim 10$, 漁獲係数 $F = 0 \sim 1$ の範囲におけるエゾアワビの加入あたり等漁獲量曲線である。

図中のMラインはある漁獲係数Fに対して最大の漁獲量を与える漁獲開始年齢 t_c を示しており、図中■は現状における漁獲係数Fと漁獲開始年齢 t_c による位置を示している。

ケース1の自然死亡係数 $M=0.16$ (漁獲係数 $F=0.70$)の場合では最大漁獲量を得るMラインは $t_c=5.7$ 歳(殻長108mm)の115gであり、現状は $t_c=3$ 歳(殻長75mm)の88gであることから76%の位置となる。

ケース2の自然死亡係数 $M=0.36$ (漁獲係数 $F=0.50$)の場合では最大漁獲量を得るMラインは $t_c=3.2$ 歳(殻長78mm)の65gであり、現状は $t_c=3$ 歳(殻長75mm)の62gであることから95%の位置となる。

土井(1973)によるとYPRは加入量一定の条件下において加入量の効率的利用をはかるためのモデルであり、最大持続生産を得る資源水準の概算値を推測するには経験則である処女資源の50%資源水準を適用するための産卵量を別途試算する必要がある。

表6-2は土井(1973)に従い、YPR同様に加入年齢 $t_i=3$ 、成熟年齢 $t_m=4$ 、漁獲最高年齢 $t_h=15$ として漁獲開始年齢 $t_c=1\sim 8$ 、漁獲係数 $F=0\sim 1$ の範囲におけるエゾアワビの加入あたり産卵母貝量を加入個体数Rを1として求めた指数値である。そして、その値を基にそれぞれ産卵母貝量の減少割合の等値線を自然死亡係数 $M=0.16$ (漁獲係数 $F=0.70$)と $M=0.36$ ($F=0.50$)の2ケースについて示した(図6-10)。図中■は現状における漁獲開始年齢 t_c と漁獲係数Fの位置を示している。

ケース1の自然死亡係数 $M=0.16$ (漁獲係数 $F=0.70$)では漁獲がない時に比べ19%の位置にあることから $M=0.16$ では産卵母貝量の減少割合が相当低い水準にあることが認められた。 $F=0.70$ で処女資源の50%となる母貝量の指数値は1.94であり、それに対応する漁獲開始年齢は4.7歳(殻長98mm)となった。

ケース2の自然死亡係数 $M=0.36$ (漁獲係数 $F=0.50$)では漁獲がない時に比べ35%の位置にあり、 $F=0.50$ で処女資源の50%となる母貝量の指数値は1.06であり、それに対応する漁獲開始年齢は3.7歳(殻長86mm)となった。

考 察

1 エゾアワビの漁獲量変動

エゾアワビの漁獲量変動は三陸沿岸一帯に共通する規模の要因により支配されていることが推測され、その内容として異常低水温など海況条件と母貝集団の大小など生物的条件を合わせた自然的要因とその他密漁問題などの人為的要因が考えられる。

表6-2 エゾアワビの産卵母貝量(加入 $R=1$ における指数値)

M=0.16								
漁獲係数 (F)	漁 獲 開 始 年 齢 (t_c)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.0	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88
0.1	2.31	2.56	2.82	3.12	3.36	3.55	3.69	3.79
0.2	1.28	1.62	2.02	2.50	2.90	3.22	3.47	3.66
0.3	0.90	1.22	1.64	2.22	2.70	3.09	3.40	3.64
0.4	0.59	0.88	1.31	1.95	2.49	2.93	3.30	3.58
0.5	0.39	0.64	1.06	1.75	2.33	2.81	3.21	3.53
0.6	0.26	0.48	0.87	1.59	2.20	2.72	3.14	3.48
0.7	0.18	0.36	0.73	1.47	2.10	2.64	3.08	3.44
0.8	0.12	0.28	0.62	1.38	2.02	2.57	3.03	3.41
0.9	0.09	0.22	0.53	1.30	1.96	2.52	2.99	3.38
1.0	0.06	0.17	0.46	1.24	1.91	2.48	2.96	3.36

M=0.36								
漁獲係数 (F)	漁 獲 開 始 年 齢 (t_c)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.0	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12	2.12
0.1	1.35	1.51	1.69	1.87	1.93	2.01	2.06	2.09
0.2	0.87	1.08	1.32	1.62	1.79	1.93	2.02	2.07
0.3	0.58	0.79	1.07	1.43	1.69	1.86	1.98	2.06
0.4	0.39	0.59	0.88	1.31	1.60	1.81	1.95	2.04
0.5	0.27	0.44	0.73	1.21	1.54	1.77	1.92	2.03
0.6	0.18	0.34	0.62	1.13	1.49	1.73	1.90	2.01
0.7	0.13	0.26	0.53	1.07	1.44	1.70	1.88	2.00
0.8	0.09	0.21	0.46	1.02	1.41	1.68	1.87	2.00
0.9	0.07	0.16	0.40	0.97	1.38	1.66	1.85	1.99
1.0	0.05	0.13	0.35	0.94	1.35	1.64	1.84	1.98

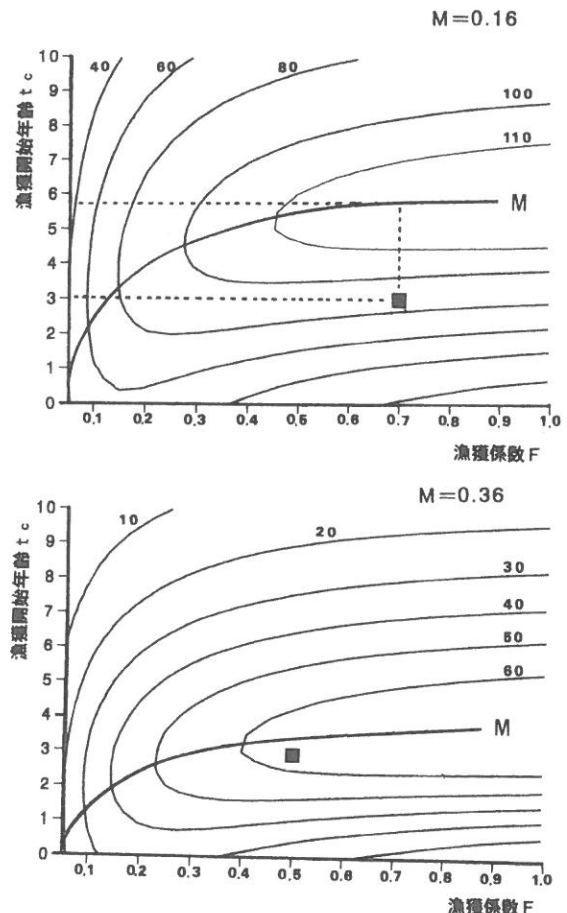


図6-9 エゾアワビの加入あたり等漁獲量曲線図 (上: 自然死亡係数 $M=0.16$, 下: $M=0.36$, 点■は現状位置を示す)

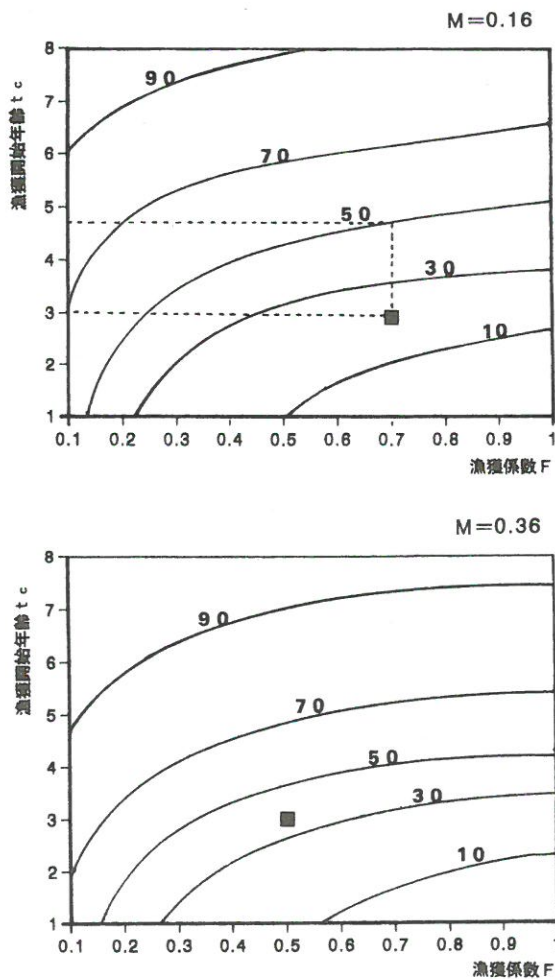


図6-10 エゾアワビの加入あたり等産卵母貝量の減少比率(%, 上:自然死亡係数 $M=0.16$, 下: $M=0.36$, 点■は現状位置を示す)

岩手県沿岸では親潮の接岸による2~3月の極低水温がエゾアワビ個体数の減少に大きな影響を与えること、また冬季水温の高低と稚貝出現量との相関関係から、水温低下ともない稚貝の減耗が大きくなることが推測されている(洪井1984, 西洞1996)。

野中(1987a, b)は1894年から1985年までの92年間の全国アワビ漁獲量の変動係数を求め、エゾアワビの大減産が親潮系水の接岸によるのであれば1984年前後の減産はそれ以前の類似年(1896年, 1931年, 1945年)同様に回復するとしている。しかし、その後の1995年までの漁獲量の推移は図6-1に示したとおり長期間の不漁状態になっており、漁獲量変動については水温以外の要因を検討する必要がある。今回の1980年前後からの漁獲量低落期への移行については引き金として冷水塊の接岸など環境的な原因があったとしても、その後の長期的な不漁の持続現象の原因については資源の再生産力の低下、すなわち産卵母貝量の慢性的不足を考えざるを得ない。

エゾアワビ漁獲量の低落傾向を検討した歌津町海域に

おける1975年以降の再生産関係は資源が減少過程に陥った型であり、再生産曲線を大きく下回る(45度線を下回る)ような生き残りの悪い年級が連続した結果、産卵量が減少し次第に資源回復への再生産力が低下したと推測される。一般的な再生産関係はリッカー型など飽和曲線で示されるが、今回の型は飽和域に達する以前の直線的な減少過程が経年的に示されたと考えられる。

これに関連し、1979年アワビ漁開口時にみられたとおり資源加入以前である殻長90mm未満の若齢貝への漁獲圧の増大が以前より相当量認められており(図6-8)、産卵母貝集団の大きさは質的、量的に経年的な減少過程にあったと考えられる。クロアワビでは制限殻長の引き下げや種苗放流が小型貝に対する漁獲強度を高め、結果的に加入量の減少や天然個体の小型化を招いた事例が報告されている(堀井1991, 1998)。

なお、産卵量に関連する要因として第2章で述べたとおり1983年(1973年も類似年)のような台風の接近通過がなく産卵時期の遅延にともなう幼生補給量の減少と翌春の異常低水温の組み合わせという初期発生・生残にきわめて不利と考えられる条件の年があることから、今後の類似年についても再検証していくことが必要である。

その他、暴風浪や台風がもたらすカタストロフィックな初期減耗とそれが資源変動に及ぼす影響については類推の域を出ないが、広瀬(1956)、内田(1995)が言及しているとおり海底環境を根底から破壊してしまう物理的減耗の実態について今後の正確な評価が望まれる。

アワビ類における再生産関係の具体的な発現に関して Prince *et al.* (1987, 1988a, b)はタスマニア産 *Haliotis rubra* についてその存在を実験的に説明している。すなわち、浮遊幼生の分散範囲は0~50mという仮説に基づき、島内数カ所のアワビ漁場で母貝除去後の稚貝分布を調査し、母貝量と稚貝密度の量的関係から証明を試みた。

一方、Shepherd (1990)はWest Islandで未利用状態の *H. laevigata* 個体群について18年間の加入と減少を観察した。加入対象は表出サイズとなる2歳貝(50~70mm)として110mm以上貝のbiomassとの対応関係を検討した。その後、Shepherd and Partington (1995)は1978年~1990年まで1.5km四方の隔離された小湾 Waterloo Bay で *H. laevigata* 個体群の変動を見た結果、リッカー型の親子関係として $R = 0.50Ge^{(-0.030G) - 2.60}$ (R:加入量, G:放卵指数)という再生産曲線を得た。これはアワビ類では最初の再生産関係に関する報告例であり、母貝集団の密度が一定量以下に減少すると資源の加入が次第に困難になることを意味している。

これら *Haliotis rubra*, *H. laevigata* の再生産関係に関する事例に基づき、エゾアワビにおいても漁獲量低落の長期化現象については母貝量の多寡が影響している可能性は十分考えられる。今後さらにその親子関係が成立する場合のメカニズムを解明するためには年別、場所別における産卵後の幼生分散範囲や、着底後の生残状況などを把握する必要がある。

2 資源の管理方策

Breen (1992) は加入あたり漁獲量 (YPR) 自体は成長・生残など種の生物学的特性値によるモデルであり生態学的要因は考慮されないで加入量変動機構の具体的な説明には使えないこと、YPR で管理されたアワビ資源では加入量減少を招き資源崩壊の危険性があるので資源管理は加入あたり産卵量 (EPR) モデルによる評価が重要であることを指摘している。一方、資源量の減少には産卵母貝よりエルニーニョなど環境変化による影響が大きいとする主張もあるが (Tegner *et al.* 1989), アワビの加入量変動がこのような自然環境要因に支配されるとしても、資源を確実に維持管理するためにはやはり母貝保護による産卵量確保が最優先の方策と考えられる。

今回のエゾアワビ資源の YPR や加入あたり産卵母貝量の減少比率を検討する場合、自然死亡係数 $M=0.16$, $M=0.36$ の 2 ケースでそれぞれ異なる資源解析値が得られた。一般的な資源解析手法としては漁獲物の年齢組成から求めた全減少係数 Z から自然死亡係数 M , 漁獲係数 F を分離するが、これら YPR や加入あたり産卵母貝量の減少比率の解析値は自然死亡係数 M の設定によりかなり変化するので正確な M 値を推定する必要がある。

Shepherd and Breen (1992) は世界各地のアワビの自然死亡係数 M に関する約 50 事例に基づき、 M は生活史特性として寿命に相関していること、 M と年齢を対応させると 1 歳以下では 1 以上、2 歳から 3 歳以上では 0.5 以下で一定となり、その範囲は 0.07 ~ 1 以上にわたることをレビューしている。そして、 M の原因として環境変化 (水温、嵐、エルニーニョなど)、食害、飢餓・病害などによる減耗が挙げられた。漁獲対象となる成員の M に関する報告事例としては *H. iris* の 0.10 (Sainsbury 1982) および 0.05 ~ 0.15 (Schiel and Breen 1991), *H. rufescens* の 0.15 (Tegner *et al.* 1989), *H. kamtschatkana* の 0.15 ~ 0.20 (Sloan and Breen 1988), *H. rubra* の 0.19 ~ 0.22 (Nash 1992), *H. laevigata* の 0.22 ~ 0.38 (Shepherd *et al.* 1982, Shepherd 1990) など平均的には 0.15 ~ 0.20 の範囲に多いことから、今回検討した $M=0.16$ と $M=0.36$

については前者が妥当と考えられる。したがって、今回のエゾアワビの YPR や加入量あたり産卵母貝量の減少比率のモデル解析では漁獲対象貝についての自然死亡係数 $M=0.16$ を採用して今後の方向を考察する。

近年の研究により世界各地のアワビ資源と EPR に関する現状は次のように報告されている。アワビ類の EPR (%) が最初に報告されたのはオーストラリアの *H. laevigata* で 16 ~ 36% (Sluczanowski 1984) であり、以後カナダの *H. kamtschatkana* で 25% (Breen 1986), ニュージーランドの *H. iris* で 18% (Schiel and Breen 1991), タスマニアの *H. rubra* では EPR (%) は漁場により異なり 10 ~ 100% (Nash 1992) の範囲にあった。アワビ資源の枯渇が懸念される EPR (%) としてメキシコの *H. fulgens* で 6 ~ 17% (Shepherd *et al.* 1991), オマーンの *H. mariae* で 2 ~ 29% (Shepherd *et al.* 1995) と報告されている。

特に、Shepherd and Baker (1998) は生物学的資源管理基準 (BRP) として資源水準の異なる 6 漁場の *H. laevigata* 個体群について EPR を検討し、各地の個体群について最適加入を確実にする EPR (%) の一定値は得られなかったが、それぞれ個体群の生産性に対応する EPR (%) 閾値として 27 ~ 83% を提示することが出来た。世界各地の 11 事例を比較すると、長期間安定した資源状態下のアワビ漁業の EPR (%) は 50% 以上であり、これら EPR (%) より上に産卵量が維持されれば、加入量は最適で漁業も維持されるが、それより下なら加入乱獲のリスクが高まるとした。

一方、最大持続生産量を与える親魚の資源水準については産卵量の減少比率が処女資源の 50% 近傍にあることが提示され (土井 1973, 1977), ここから導かれた加入あたり産卵母貝量の減少比率と上記 EPR (%) の値は産卵数がバイオマスに比例する前提により同義である。したがって、今回のエゾアワビの資源解析から得られた加入あたり産卵母貝量の減少比率 19% は世界各地の EPR (%) と比較可能であり、現状の産卵母貝量の資源水準が加入量を確保するためには深刻な状態にあることが明らかである。

YPR や EPR による資源管理効果として最大持続生産をもたらず再生産力の回復をはかるには漁獲開始年齢 t_0 の大型化と漁獲規模 F の縮小化の方向がある。クロアワビの資源解析事例では加入あたり漁獲量の増大には漁獲係数 F より漁獲開始年齢 t_0 の操作が有効であることが指摘されている (石橋・小島 1979)。

今回のエゾアワビの加入量あたり産卵母貝量の減少比

率から産卵数が50%になる点を試算すると(図6-10)、漁獲開始年齢 t_c は現状の3歳(殻長75mm)から4.7歳(殻長98mm)になる。またYPRモデルより(図6-9)最大漁獲量が得られる漁獲開始年齢 t_c は現状の3歳(殻長75mm)から5.7歳(殻長108mm)になる。この場合、殻長別卵巣重量(図2-6)から母貝1個体あたりの産卵量を求めると殻長75mm:31万粒,98mm:121万粒,108mm:216万粒となり、アワビ産卵数は殻長と共に指数関数的に増大することから、現状では漁獲開始年齢 t_c の引き上げが再生産力の増強には有効と考えられる。

以上のことから、エゾアワビ資源の最大持続生産の回復をはかるには漁獲対象サイズの大形化への移行が必要であり、その過程で産卵量は著しく増大しさらに拡大再生産を通じたより高い資源水準への到達が期待される。すなわち、当面の資源管理方策としてはEPRモデルに基づく漁獲開始サイズ98mmを目標とした有効な加入あたり産卵母貝量の増大があり、次にYPRモデルに基づく加入あたり最大漁獲量の得られる漁獲開始サイズ108mmへの到達となる2段階の目標設定が合理的と判断される。

第7章 総合考察

これまで、エゾアワビの産卵～浮遊幼生～着底稚仔～稚幼貝に至る一連の再生産過程における分布動態について述べてきた。本章ではこれらの結果に基づいて、エゾアワビ個体群の加入機構について総合的に考察するとともに、本種の増殖技術や資源管理への展開と今後の研究方向について述べる。

1 産卵-幼生分散の類型化

海産底生無脊椎動物はそれぞれ種の繁殖戦略として多様な産卵様式と幼生の発育形態を持つことで環境に適応し、その生息域の拡大や地域集団の遺伝的交流をはかっている(Thorson1950, 菊池1981, Jablonski&Lutz 1983, Strathmann 1986)。エゾアワビの発生様式はLecithotrophic(卵黄栄養型発生)であり、幼生期間中の栄養源は卵黄に依存するので浮遊期間は比較的短い特性を持つ。

図7-1にエゾアワビにおける産卵と波浪規模の関係ならびにそれらに対応した幼生分散型を模式化した。すなわち、本種は繁殖期間中に台風等大型低気圧の接近通過で引き起こされる長時間の大波浪(有義波高4m以上)により南三陸沿岸域一帯で広範囲一斉の大量産卵を一回

行う。この場合は台風攪乱にともなう海水の流動拡散作用が大きいため、受精卵、幼生等の分散範囲は沖合も含めて周辺 $10^3\sim 10^4$ mに及ぶものと考えられる。

なお、海産底生無脊椎動物の各種浮遊幼生の浮遊期間と分散規模については海水の流動特性と幼生自身の行動生態により変化するが、関口(1993)はこれまでの各種報告を整理し浮遊期間1~2日に属する種は 10^3 m, 1~2週間の種は 10^4 mの分散規模であることを推定している。

一方、小型低気圧等の前線通過によって引き起こされる短時間の中波浪(有義波高2~4m)により各地域単位での小範囲の少量産卵が数回行われるが、この場合は海水流動の度合いが小さいため、幼生等の分散範囲は地先 $10^2\sim 10^3$ mにおさまると考えられる。

このような型式を区分し、前者を大量一回産卵・広域分散型(I型)、後者を少量多回産卵・地先滞留型(II型)と定義する。これらの2型式は概念的なものであり中間的な型式も年によっては認められる。したがって、エゾアワビは種の存続をはかるためその再生産過程において浮遊幼生を広範囲に分散し新たな着底繁殖域へと拡散し遺伝子交流をはかるI型、さらに従来の繁殖分布域を確保し再生産関係を維持するII型という二面的な繁殖戦略を両立展開していることが示唆される。

なお、幼生の放出・分散量についてI型はII型より規模は大きいが頻度が低く、さらに隣接域への逸散や無効分散も大きい特性があると考えられ、着底稚仔の加入効率面からの比較については今後の課題である。また、II型については8月の産卵期前半の水温変化や早潮などに対応する産卵と8月~10月の小型低気圧通過時に対応する産卵の2様式が考えられるので、さらにそれぞれのケースについて検討が必要である。

2 稚仔発生場の立地環境

エゾアワビの個体群形成には着底基盤となるアラメ下限域の無節サンゴモ海底へ浮遊幼生が十分輸送される加入過程とその後の生物生産を保障する餌料藻類とすみ場の十分な成育過程からなる一連の再生産機構が存在する必要がある。

宮城県北部海域の磯根漁場における海藻植生区分として岸側Aはアラメなど大型海藻群落域(Algae Zone), Bはその下限境界域(Boundary Zone), 沖側Cは無節サンゴモ域(Coralline Zone)の類型化が考えられる(図7-1)。

エゾアワビ浮遊幼生の着底域については、着底直後稚

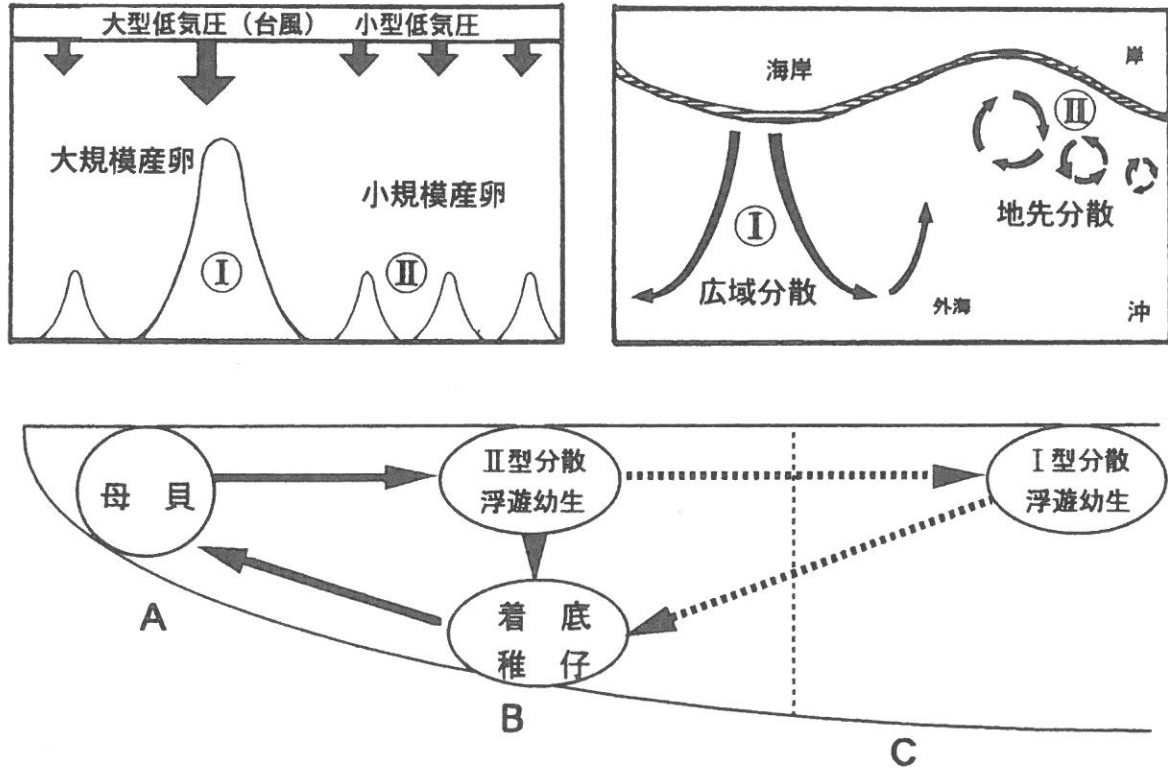


図7-1 エゾアワビ再生産過程における産卵特性・幼生分散および加入模式図
(A: アラメ群落域, B: アラメ下限域, C: 無節サンゴモ域)

仔の出現フロントがアラメなど大型海藻群落域の縁辺下限域に形成されることから、その水深帯に輸送され着底することは明らかである。そして、アラメ下限域は着底直後稚仔が卵黄消費後の栄養条件に起因する初期減耗に対し、無節サンゴモ玉石表面の微細藻類に栄養源を依存するため生残に適した場であると考えられる。それら着底稚仔の発生、分布域は各地先により水深は異なるが海藻群落の植生面からはアラメ下限域に相当するBの水深帯に認められ、その後の0~1 齢貝の分布域とも一致した。稚仔着底域のフロントであるアラメ下限域の水深帯は外海から湾内へと次第に浅所に移行するが、その原因として外海域では波浪度合が大きく岸側浅所の底質基盤が不安定で流動も激しいことからエゾアワビ浮遊幼生の接岸頻度は少ないのに対し、湾内では相対的に波浪度合が小さく底質基盤も安定的なことから浮遊幼生の接岸着底が可能になるためと考えられる。同様に、各地先におけるアラメ下限域はその場の波浪や海底勾配など物理的環境条件やその他底生生物の分布とも対応しながらその位置や範囲が年により変動すると考えられる。

なお、親潮系冷水や黒潮系暖水の接岸にともない水温変動が大きい三陸沿岸域ではこれらアラメ群落の位置や規模が年により変化することから (Taniguchi1991)、エゾアワビ浮遊幼生の着底域であるアラメ下限域も岸~沖

の間で拡張、退縮すること、そして年によるこれら着底領域の拡大、縮小は着底稚仔の発生量の増減として資源変動に連動することが想起されるが、その関係については今後の課題である。

3 増殖への展開と課題

将来に向かってアワビ漁業の健全な発展をはかるためには持続的な資源増大の鍵となる加入動態の知見に基づいた増殖技術や資源管理方策の展開が基本となる。

まず、漁場造成についてはアラメ下限域として維持される場の構造がエゾアワビ稚仔の発生(着底・生残・成長)に有効であることから浮遊幼生の着底基盤となる無節サンゴモ玉石と餌料藻類の着生基盤となる一定高の構造物を配置する築磯方式の展開が考えられる。一定高についてはアラメ下限域の水深に構造物を設置した場合、その上端がアラメ群落の形成される水深帯になることを意味している。特に、幼生量の多い外海域では無節サンゴモ玉石のような幼生着底に適した基質が波浪度合の大きいアラメ下限域の海底に十分量存在するか重要な問題となる。これまでの研究で着底期以降は密度依存による初期減耗が確認されており (McShane1992)、その意味では着底稚仔や微細藻類の着生基盤となる無節サンゴモ玉石の面積量が稚仔の生残・成長を支配する要因となるこ

とが考えられる。アラメ下限域海底の無節サンゴモ玉石には着底と成育基盤に必要な微小空間の集合体機能が備わっており、そのような海底の玉石が大波浪などにより過度に掃破されないよう緩和機能を兼ねた一定高の周辺構造物が必要と考えられる。

次に、エゾアワビの繁殖特性に応じた資源管理方策として、その産卵様式については前述のとおりⅠ型、Ⅱ型を基本とした多様な形態があり、それぞれ生息環境の立地条件に適応しながら産卵時期、産卵量、分散範囲等が規定されていると考えられる。

養殖事業として歴史の長いマガキの天然採苗については母貝量と幼生発生量との間に明らかな正の相関が認められていることから(小金沢1978)、母貝保護は生産基盤の安定化をはかる上での基本的措置である。これまで15年間にわたるエゾアワビ浮遊幼生のモニタリング結果からも他の *Tegula* spp. など産卵指標種と比較し幼生出現密度の近年の低落傾向は明らかである。

産卵期前半の8月中の早期産卵については9月産卵盛期と異なり台風などに伴う有義波高と対応しない幼生出現が観察され、なお検討すべき点が残されている。早期産卵の開始に関与する環境要因としては水温変化の他、月齢を加味した早潮現象との関連など波浪以外の多様な繁殖特性による加入様式が示唆される。特に、Ⅱ型に属する8月産卵の早期着底群はその後の成長も早いことから、減耗が小さければ資源加入上は有利と考えられ、8月の早期産卵や大量放出が促進されるよう海藻群落の豊富な場に母貝群を保護育成することが資源管理上重要であり、その根拠となる早期着底群の動態解明が今後の課題である。

Shepherd and Partington (1995) はリッカー型の再生産曲線から母貝集団の密度が一定量以下に減少すると資源の加入が次第に困難になることを提示している。さらに、Shepherd and Baker (1998) は生物学的資源管理基準 (BRP) として世界各地の加入あたり産卵量 (EPR) を検討し、長期間安定した資源状態下のアワビ漁業の EPR (%) は50%以上であり、それ以上に産卵量が維持されれば、加入量は最適で漁業も維持されるが、それ以下なら加入乱獲のリスクが高まるとした。したがって、エゾアワビにおいては産卵量の確保をはかるためには餌料環境、産卵刺激の感受性が高い立地環境下での母貝育成を推進する必要がある、最大持続生産量や加入あたり産卵量の増大を得る手段として漁獲開始年齢の引き上げが有効と判断される。

近年、乱獲などにより減少したアワビ資源を復活させ

るため、産卵量の増大、遺伝的多様性の維持そして科学的調査海域の確保などを包括した Refugia という概念による産卵母貝の保護区設定が検討されている (Shepherd and Brown 1993)。また、種苗放流については当面の再生産が低迷した中で母貝集団の造成に関連し、人工種苗により天然個体群の補強と持続的かつ自立的再生産力の加速をはかる新たな意義が提唱されている (関・佐野 1998)。今後、エゾアワビ増殖の新たな規範を構築していくには母貝集団の保全と持続的な資源管理方策に基づくモデル漁場の展開が必要であり、それらを実証して行く上で今回研究した本種の各発育段階における分布動態や加入機構に関する生態学的知見は有力な根拠を与えると考えられる。

要 約

第1章 アワビ人工種苗放流、漁場造成などの増殖事業を推進するにはその生態学的種特性に応じた方策が基本となるが、これまでアワビ類の再生産過程に関する研究は生活領域が波荒い外海岩礁域にあり、潜水採集や幼生、稚仔期の種査定などの困難性により研究成果は乏しく、その生態学的理解は国内外ともに緒についたばかりである。天然漁場におけるアワビ資源の持続的な管理方策を樹立するには生活史初期の産卵状況、浮遊幼生期の分散、着底期から稚貝期の減耗そして漁獲資源における個体群動態の量的把握が基本的要件であり、加入機構に関する研究の必要性は今後より一層顕在化していくと考えられる。

本研究では日本で最も重要なアワビ資源であるエゾアワビを対象に、同種が単一に分布する三陸沿岸において産卵から浮遊期、着底期を経て漁獲資源への加入まで一連の再生産過程を調査し、その加入機構に関する生態学的基礎知見を得ることを目的とした。

第2章 エゾアワビその他各種原始腹足類の浮遊幼生の種査定を迅速かつ正確に識別するには幼生原殻の輪郭、彫刻模様、軟体部色調に着目するのが最も実用であった。1983年以降15年間におけるエゾアワビ浮遊幼生の最多出現日とその密度、表層水温、成熟有効積算水温などを観測した。各年の最多出現時におけるエゾアワビ幼生数と成熟有効積算水温は有意な相関が認められなかった。エゾアワビ幼生の出現特性として日別最大有義波高との関係を見るとその大量産卵は台風などで引き起こされる4 m以上の波高、その前後に見られる小規模産卵は2 m～4 mの波高に対応していた。エゾアワビ幼生の出

現に同調した種は *Tegula* spp., ムラサキインコガイ, *Strongylocentrotus* spp. であった。エゾアワビ浮遊幼生の出現数 (y) と有義波高 (x) との関係は $y = e^{-17.26x^{2.98}}$ ($r^2 = 0.62, p < 0.001$) であり, 産卵前期 8 月と末期 10 月に比べ産卵盛期の 9 月において明らかに有意な相関が認められた。

第 3 章 エゾアワビ浮遊幼生の分布は母貝分布と同様に内湾より外海域に多く, その高密度域は海水流動の大きい湾口周辺域に形成される傾向にあった。大量産卵時におけるエゾアワビ浮遊幼生分布は産卵 2 日後に沖方向 2 km ~ 3 km まで分散していたが, 産卵 3 日 ~ 5 日後では距岸 1 km ~ 2 km 沿岸域に分布した。産卵後の幼生分布は台風通過後の気象条件として東成分の向岸の風向が多くなるため, 広範囲に分散した幼生接岸には有利と考えられる。産卵初期, 晩期の小型低気圧通過ともなう産卵ではエゾアワビ幼生は離岸距離 100 m ~ 200 m 内の局所的分布が認められた。エゾアワビ幼生の鉛直分布は沖合域では表層 ~ 15 m 層まで認められたが, 岸近くではその海底近くとなる水深 3 m ~ 6 m 付近に高密度群が形成された。

第 4 章 エゾアワビ着底稚仔の湾単位における分布は中央域より側面域そして湾奥部より外延域に多く, 浮遊幼生の輸送頻度の反映と考えられる。エゾアワビ着底稚仔の出現位置は立地 (海底勾配や波浪条件等) で異なるが, その着底フロントは各地先とも共通してアラメ等大型海藻群落の縁辺下限域すなわちアラメ群落 ~ 無節サンゴモ域への移行水深帯に形成されたことから, 着底変態期に達した浮遊幼生はアラメ下限域に対応した水深帯をフロントとして着底すると考えられる。天然海底における無節サンゴモ玉石上のエゾアワビ着底稚仔の日間減耗率は 9 ~ 14% の範囲にあり, 玉石表面積 1 m² あたり分布量は $y = 253 e^{-0.124x}$ (y : 生残個体数, x : 着底後日数) で示された。また, 産卵盛期の 9 月におけるエゾアワビ着底稚仔の日間成長量は 30 μ m から 40 μ m の範囲にあった。天然海底の着底基質である無節サンゴモ玉石から軟体部が萎縮半壊しへい死過程にある殻長 500 μ m 前後の着底稚仔が多く出現した。室内飢餓実験で稚仔は殻長 470 μ m 前後でへい死したことから, 着底後の一定時期において餌料条件に起因する初期減耗があると考えられた。

第 5 章 0 ~ 1 歳貝の高密度分布域は外海域で水深 5 ~ 6 m, 湾口域で水深 3 ~ 4 m, 湾内域で水深 1 ~ 2 m であり, 外海から湾内へ向かい浅くなった。これら稚貝は着底直後稚仔よりやや岸側に分布するものの基本的には同じ水深帯に認められ, その場の植生は外海, 湾口, 湾

内に共通してアラメ群落の下限域であった。各植生区における 0 ~ 1 歳貝の出現比率は浅所アラメ区: 6%, アラメ下限区: 49%, 無節石灰藻区: 25% であり, 浅所アラメ区とアラメ下限区における各年齢別の分布比は 1 歳後半から 2 歳前半にかけて転換することから, その時点で稚貝は着底域であるアラメ下限区から成育場である浅所アラメ区へと移動すると考えられる。岸側アラメ区の方へ生活領域の拡大をはかった後は特に大きな移動はなく, 若齢貝 ~ 成貝ともに同じ生活要求の場としてアラメなど餌料海藻群落に依存する分布を示した。

第 6 章 エゾアワビの資源特性値から加入あたり漁獲量 (YPR) と加入あたり産卵母貝量の減少比率 (EPR%) の等量線図を作成した。自然死亡係数 $M = 0.16$, 漁獲係数 $F = 0.70$ の現状では, 産卵母貝量の減少比率は処女資源に比べ 19% の位置にあった。生物学的資源管理基準 (BRP) より安定した資源状態のアワビ漁業は EPR (%) は 50% 以上とされていることから, 現状の F においてその値を実現する漁獲開始年齢 t_c は 4.7 歳 (殻長 98 mm) となった。現状の YPR は $t_c = 3$ 歳 (殻長 75 mm) の 88 g であり, F に対応する最大漁獲量は $t_c = 5.7$ 歳 (殻長 108 mm) の 115 g となった。よって, 当面の資源管理方策として EPR に基づく加入あたり産卵母貝量の増大をはかるには制限殻長 98 mm, YPR に基づく加入あたり最大漁獲量の達成をはかるには制限殻長 108 mm の 2 段階の目標設定が合理的と考えられた。

第 7 章 エゾアワビは種の存続をはかるためその再生産過程において浮遊幼生を広範囲に分散し新たな着底繁殖域へと拡散し遺伝子交流をはかる I 型 (大量一回産卵・広域分散型), および従来の繁殖分布域を確保し再生産関係を維持する II 型 (少量多回産卵・地先滞留型) の繁殖戦略を両立展開していると考えられる。エゾアワビの個体群形成には着底基盤となるアラメ下限域の無節サンゴモ海底へ浮遊幼生が十分輸送される加入過程とその後の生物生産を保障する餌料藻類とすみ場の十分な成育過程からなる一連の再生産機構が存在する必要がある。

1983 年以降 15 年間にわたるエゾアワビ浮遊幼生のモニタリング結果から他の *Tegula* spp. など産卵指標種と比較し幼生出現密度が慢性的に少なく, 産卵母貝の保護育成は生産基盤の安定化をはかる上での基本的措置である。産卵量の確保をはかるためには餌料環境, 産卵刺激の多い立地環境下で母貝育成を推進し, 最大持続生産量や加入あたり産卵量の増大を得る手段として漁獲開始年齢の引き上げが有効と判断される。今後はエゾアワビ増殖の新たな規範を実証するため母貝集団を造成したモデ

ル漁場を検討していく必要があり、そのような事業展開をはかる上でこれまで述べてきた本種の各発育段階における分布動態や加入機構に関する知見が生態学的根拠になると考えられる。

謝 辞

この論文を作成するにあたり、終始懇切なるご指導とご校閲を戴いた東北大学大学院農学研究科水圏生物環境学研究室の谷口和也教授に深甚なる謝意を表します。また、本稿のご校閲と貴重なご教示を戴いた東北大学大学院農学研究科水圏修復生態学研究室の谷口 旭教授、東北大学大学院農学研究科水圏資源生態学研究室の大森迪夫教授に対し深謝申し上げます。

さらに、この研究推進にあたり、有益なご助言をいただいた *South Australian Research and Development Institute* の S. A. Shepherd 博士、養殖研究所遺伝育種部長の關 哲夫博士、日本海区水産研究所海区産業研究室長の林 育夫博士、東北大学大学院農学研究科水圏生物環境学研究室の吾妻行雄助教授に対し感謝の意を表します。

本研究は1982年以来著者が宮城県気仙沼水産試験場、同栽培漁業センター、同水産研究開発センター在勤中に積み上げてきた幾多の試行錯誤に基づく結果であり、ここに至るまでそれぞれの職場や沿岸各浜で多くの方々から暖かいお世話をいただきました。ここに記して関係各位にお礼申し上げます。

最後に、本論文作成の原動力として永年にわたりご厚情を賜った元水産庁中央水産研究所長故小金澤昭光博士に謹んでお礼を申し上げますと共に、心よりご冥福をお祈りいたします。

Summary

Little is known about the ecological relationships between stock size and subsequent recruitment in the population dynamics of the northern Japanese abalone *Haliotis discus hannai*. The study described here has the aim of obtaining the fundamental information on the recruitment structure identified as a limiting process in a determining the productivity of fisheries for abalone. The key problem in abalone population dynamics lies in understanding settlement and recruitment, which is essential to the ecological management

for preventing the overfishing and for establishing the strategies of self-sustainable fisheries. This lack of understanding has been partly due to methodological problem through underwater research activity and to difficulty in measuring the abundance of larvae and settled spats during early life history stages within the rocky reef ecosystem.

Results are summarized as follows :

Larval development of 11 species of Archaeogastropoda was examined to establish a key to aid larval identification for monitoring plankton samples. The criteria from a practical viewpoint were the color of soft tissue, shell length, shape and sculpture under microscope. Fluctuations (1983-1997) in the larval appearance of *H. discus hannai* and allied species (*Tegula* spp., *Septifer virgatus*, *Strongylocentrotus* spp.) were closely coincident with wave action caused by a typhoon during the spawning season.

From these observations, the average date and density of highest abundance, surface water temperature and effective accumulative temperature for spawning were 10th September, 4.5 inds / 10m vertical haul, 21.0°C and 1,244°C degree, respectively. With minor differences between years, spawning of *H. discus hannai* first began at sea temperatures of about 20-21°C and after an effective accumulated temperature (EAT) of about 1200-1300°C degree. However, there was no correlation between larval abundance and temperature and EAT.

Peaks of *H. discus hannai* and *Tegula* larval abundance were recorded from the 2nd to the 5th day after typhoons in late summer in each of the fifteen years, 1983 - 1997. In addition, peaks of larval abundance, usually smaller in *H. discus hannai*, but of similar or greater magnitude in *Tegula*, followed 2-5 days after minor storms (wave height 2-4m) from August to October in every year of the study. Wind directions after a typhoon went through a cycle of southerly, easterly and northerly, winds during the post-typhoon period consisted with a pronounced onshore component, which wind-driven surface currents was expected to return larvae toward the coast. Comparing the larval distribution after a minor storm and typhoon, after a minor storm larvae of *H. discus hannai* were mostly

within 100m of the shore and after the typhoon *Haliotis* larvae were mostly within 1km of the shore, whereas a minority of *Tegula* larvae were still up to 4 km offshore. After the typhoons, larvae of *H. discus hannai* and *Tegula* were found up to 3km offshore and to 30m depth, with some differences between years, three days after the typhoon, *Tegula* larvae were concentrated in the top 10m, whereas *Haliotis* larvae were at all depths but in low number. Larvae of *H. discus hannai* and *Tegula* were concentrated within 100m of the shore, with *Haliotis* larvae mostly at 6m depth close to the bottom and *Tegula* more common at 1m.

Larval settlement of *H. discus hannai* was monitored to find a settled spat in time and space by the natural boulders and shell-collectors. Natural spat settlement on crustose coralline boulders were measured at various sites of the bay after larval monitoring. Averaged density was recorded 220 inds m^{-2} with $510 \pm 20 \mu m$ shell-length along the sea-bottom from 150m (5m depth) to 200m (7m depth) distance from the shore. From the observation that the habitat of post-settlement abalone was limited within the boundary zone between *Eisenia* marine forest and crustose corallines dominated area, where larval transportation was permitted or where recruitment or growth rates were high. Comparison of monitoring quantitatively the settlement of abalone between various sites, swimming larvae has a capability of settled down the substratum covered crustose coralline algae as a front area within the shallowest boundary zone.

Natural mortality rates in the post-settlement ranged from 9~14% day^{-1} and the mean was 12% day^{-1} (=2% survival month $^{-1}$). The number of daily survived spats (y) were given by the formula: $y = 253 e^{-0.124x}$ where x is day after settlement. Daily growth rates were calculated ca. $38 \mu m$ within a month after the settlement. In some cases, dead shells of ca. $500 \mu m$ length were found in the samples from crustose coralline boulders, which were regarded as first critical size caused by a starvation. Comparing the shell-length between dead spats of natural boulders and that of experimental collectors, severe mortality caused by nutrient

requirement were observed from 400 to $500 \mu m$ shell-length.

Juveniles of *H. discus hannai* were dominantly distributed around the depth layer of 5-6m at outer site and 1-2m at inner site of the bay, which is accordant to the lowest distribution of *Eisenia*. High density of juveniles were formed in the depth of 5~6 m range at outer-bay and of 3~4m at mouth-bay and of 1~2m at inner-bay, whereas these depth were belonging to the boundary zone located between *Eisenia* marine forest and crustose corallines-dominated area from the viewpoint of floral zone.

Appearance ratio of 1 year abalone were divided into 6% in *Eisenia* algal forest, 49% in boundary zone and 25% in crustose coralline flats. Ratio of age-composition among these floral zone were converted around 2+ age class, 2+ cohort started to migrate from settlement area of the boundary zone to on-growing area of the *Eisenia* marine forest. The spatial distribution of recruitment (measured as the abundance of the 2+ age class) was correlated to the density of whole age classes. In conjunction with the flora, boundary zone between *Eisenia* algal forest and crustose coralline algal area is considered to be a substantial sites for larval settlement and spat growing.

Yield per recruit (YPR) isopleths as a function of age at first capture and instantaneous fishing mortality rate for *H. discus hannai* were calculated to estimate management strategies in abalone population. The isopleths were constructed using an instantaneous natural mortality value of 0.16 for upper and 0.36 for lower. Eggs per recruit (EPR) isopleths, expressed as a percentage of the eggs that would be produced by an unfished cohort, were also calculated to estimate management strategies in abalone population. Parameters were all identical with those used in YPR model. Egg-per-recruitment analysis suggest that the present minimum legal sizes, egg production would be maintained at 19% of unfished population, even at high fishing mortality rates. With estimate of $M = 0.16$, egg production would be maintained at about 50% which ideal level of protection of the recruitment determined by EPR analysis, the biological reference point to stabilize the population structure was recommended to

attain the age at first capture over 4.7 years old of shell-length 98 mm.

In view of the results mentioned above, recruitment characteristics for *H. discus hannai* were discussed. The case studies of pre and post-settlement suggest a model of dispersal of larvae of *H. discus hannai* and *Tegula* spp. in which the scale of dispersal is related to the intensity of the inducing storm event. Large spawning and wide dispersal follow typhoons (Type I), and smaller spawning and local dispersal follow minor storms (Type II). After minor storms larvae are retained in the vicinity of the natal reef, and after typhoons they are more widely dispersed in coastal waters. Long-distance dispersal favoring genetic

variability and short-distance dispersal favoring local adaptability.

The concept of refugia has an important role in abalone conservation by maintaining egg production and by preserving populations for scientific study. Key factor for promoting the rehabilitation of abalone population judging from 15 year monitoring of plankton appearance, the best approach to management appears to be to conserve egg production. Furthermore, management strategies of abalone fisheries were enforced by boosting egg production within ecologically important habitats aimed at controlling the abundance of spawning stock and maximizing recruitment.

文 献

- 1) 吾妻行雄(1997)キタムラサキウニの個体群動態に関する生態学的研究. 北水試研報, 51, 1-66
- 2) 赤星静雄・青山宝蔵・菅野溥記・足助光久(1973)アワビの増殖に関する研究. 昭和45, 46年度青森増殖セ事業概要, 2, 113-116
- 3) 阿井敏夫・野中 忠・佐々木正(1964)サザエの産卵と発生一・産卵行動観察の一例. 日水誌, 30(10), 828-830
- 4) 秋元義正・大和田淳・天神 僚(1976)エゾアワビの住み場と移動について. 福島水試研報, 4, 41-52
- 5) 網尾 勝(1963)海産腹足類の比較発生学ならびに生態学的研究. 水大研報, 12(2, 3), 229-358
- 6) 青山宝蔵・足助光久・須藤 潔(1973)アワビの増殖に関する研究. 昭和45, 46年度青森増殖セ事業概要, 2, 315-319
- 7) Bayne, B. L. (1964) Primary and secondary settlement in *Mytilus edulis* L. *J. Animal Ecol.* 33. 513-523
- 8) Breen, P. A. (1992) A review of models used for stock assessment in abalone fisheries. In "*Abalone of the World: Biology Fisheries and Culture*". (Eds S. A. Shepherd, M. J. Tegner and S. A. Guzman del Proo) pp253-275 (Blackwell Scientific Publications : Oxford)
- 9) Breen, P. A. (1986) Management of the British Columbia fishery for northern abalone (*Haliotis kamtschatkana*) In North Pacific Workshop on Stock Assessment and Management of Invertebrates. *Canadian Special Publication Fisheries Aquatic Science*, 92, 300-312
- 10) 千葉県水産試験場(1977)昭和50, 51年度大規模増殖場開発事業調査結果報告書(夷隅地区), 水産庁編, 1-71,
- 11) 千葉県水産試験場(1980)昭和52, 53年度大規模増殖場開発事業調査結果報告(安房地区), 水産庁編, 1-182,
- 12) Crisp, D. J. (1956) A substance promoting hatching and liberation of young in Cirripedes. *Nature*. 178, 263
- 13) Day, R. W., and Shepherd, S. A. (1995) Fisheries Biology and Ecology of Abalone; Introduction. Progress in Abalone Fisheries Research. Reprinted from *Marine and Freshwater Research* 46(3)3-5 CSIRO
- 14) 土井長之(1973)東シナ海・黄海産マガイの適正漁獲係数を見積もる簡便法. 日水誌, 39(1), 1-5
- 15) 土井長之(1977)メキシコ産あわびの資源診断. 日本水産資源保護協会月報第154号, 5~13
- 16) FAO Fishery Statistics Yearbook (1970-1995)
- 17) 富士 昭(1973)ウニ類の生態, 海洋科学, 5, 157-164
- 18) Grange, K. R. (1976) Rough water as a spawning stimulus in some trochid and turbinid gastropods. *N. Z. Jour. Mar. Freshwater Res.* 10 (1) 203-216
- 19) Guzman del Proo, S. A., Tegner, M. J., and Shepherd, S. A. (1992) Workshop on abalone management; a summary. In "*Abalone of the World: Biology Fisheries and Culture*(Supplementary papers)". Fisheries Research Papers, Department of Fisheries (South Australia) No. 24.

- 20) 畑 久三(1948)中海に於けるモガビの自然発生に就いて. 日水誌, 13(6), 248-250
- 21) 林 育夫(1983)日本産アワビ類数種の原殻の形態に基づく幼生および初期稚貝の同定. *Venus*, 42(1), 49-58
- 22) 林 育夫・三浦知之・堀越増興(1982)大槌湾における浅海の岩礁底ベントス群集に関する予備的研究. 大槌臨海研究センター報告, 8, 1-6
- 23) 広瀬敏夫(1956)暴風浪による水産生物資源災害調査報告. 岩手水試,
- 24) 堀井豊充・野口松治・一丸俊雄(1991)クロアワビの殻長制限に関する二, 三の考察. 長崎水試研報, 17, 25-30
- 25) 堀井豊充(1998)クロアワビ種苗放流により生じた漁獲強度の増大と漁獲個体の小型化について. 水産増殖, 46(1), 13-17
- 26) 堀川博史・山川 紘(1982)バテイラ *Omphalius pfeifferi* (Philippi) の生態学的研究. 南西水研研報, 14, 71-81
- 27) 堀越増興(1978)Larval Ecology(幼生生態学)とBioturbation(生物攪拌). 海洋科学, 号外1(1), 81-99
- 28) 市来忠彦・山下金義・種村一成(1977)長崎県宇久島沿岸におけるクロアワビ幼稚貝の分布と成長. 長崎水試研報, 3, 84-94
- 29) 今井利為(1995)本州中部におけるウニ類の増殖に関する研究. 神奈川水試論文集, 6, 1-90
- 30) 猪野 峻(1952)邦産アワビ属の増殖に関する生物学的研究. 東海区水研報, 5, 1-102
- 31) 猪野 峻(1971)アワビの生物学的研究. 浅海完全養殖(今井丈夫監修), 恒星社厚生閣, 265-274
- 32) 猪野 峻・原田和民(1961)茨城県に於けるアワビ産卵期. 東海区水研報, 31, 275-281
- 33) 井ノ口伸幸(1993)アワビの種苗放流と漁場利用. 日本水産学会東北支部会報, 43, 22-24
- 34) 井上正昭(1976)アワビの種苗放流とその効果. 水産学シリーズ12, 種苗の放流効果, 恒星社厚生閣, 7-25
- 35) 井上正昭(1977)日本沿岸の増殖—アワビについて. 海洋科学, 9(7), 18-25
- 36) 井上正昭・野中 忠・山田静男(1972)磯根資源とその増殖1—アワビ. 水産増殖叢書, 24, 1-108 (社)日本水産資源保護協会 東京
- 37) 石橋喜美子・小島 博(1979)徳島県産クロアワビ資源の研究—漁業管理. 東海水研報, 98, 65-75
- 38) 石田 修・田中種雄(1983)千葉県太海, 天面地先海域のクロアワビ及びメカイアワビの産卵期. 千葉水試研報, 41, 11-22
- 39) 石山尚珍・福代康夫(1982)岩手県の越喜来湾と広田湾における現生貝類と環境. 地質調査所月報, 33, (11), 569-575
- 40) 伊丹宏三・武田雷介・堺 告久・島本信夫(1978)淡路島南水域におけるマダカアワビ稚貝の分布と成長について. 兵庫水試研報, 18, 15-28
- 41) Itosu, C. and Miki, M.(1983). Field observation of wave-induced circulation in ormer fishing ground. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 49, 339-46.
- 42) 伊藤澄恵(1995)アワビ人工種苗の回収状況. 日本水産学会東北支部会報, 45, 3-5
- 43) 岩瀬洋一郎・池田 穰・沖 政和・坪田康信・中村 充(1994)環境要因評価法を用いたエゾアワビの棲息環境条件の評価とそれに基づく改善方法の提案. 水産工学, 31(2), 79-86
- 44) 岩田静夫(1986)相模湾の海況の短期変動に関する研究. 神奈川水試論文集, 3, 1-66
- 45) 岩手県(1984)昭和57, 58年度組織的調査研究活動推進事業報告書(アワビ生産量変動要因の究明), 1-104
- 46) Jablonski, D. and Lutz, R. A. (1980) Larval shell morphology ; ecological and paleontological applications. *Skeletal Growth of Aquatic Organisms*. 323-377
- 47) Jablonski, D. and Lutz, R. A. (1983) Larval ecology of marine benthic invertebrates:Paleobiological implications. *Biological Reviews*, 58, 21-89
- 48) 加戸隆介(1991)チシマフジツボ幼生の孵化から定着にいたる動態. 月刊海洋. 23(10), 630-634
- 49) 川俣 茂(1994)三陸沿岸磯根漁場の底生生物群集の構造とその成因. 水工研研報, 15, 1-24
- 50) 川村一広(1970)エゾバフンウニとキタムラサキウニの浮遊幼生の形態変化について. 北水試報, 12, 141-153
- 51) 川村一広(1973)エゾバフンウニの漁業生物学的研究. 北水試報, 16, 1-54
- 52) 煙山 彰・武市正明・内田 明(1997)山田町垂水におけるエゾアワビ人工種苗の放流効果. 岩手水技センター研報, 1, 37-45
- 53) 菊地省吾(1976)宮城県江ノ島におけるアワビ・ウニの海中造林実験. 新版つくる漁業, (社)農林統計協会, 292-301,
- 54) 菊地省吾・浮 永久(1974 a)アワビ属の採卵技術に関する研究 第1報 エゾアワビ *Haliotis discus hannai* INO の性成熟と温度との関係. 東北水研研報, 33, 69-78
- 55) 菊地省吾・浮 永久(1974 b)アワビ属の採卵技術に関する研究 第2報 紫外線照射海水の産卵誘発効果. 東北水研研報, 33, 79-86

- 56) 菊地省吾・浮 永久(1974c)アワビ属の採卵技術に関する研究 第4報 生殖素の受精能力の持続時間と温度との関係. 東北水研研報, 34, 73-75
- 57) 菊地省吾・浮 永久・秋山和夫・鬼頭 鈞・菅野 尚・佐藤重勝・桜井喜十郎・鈴木 博(1979)アワビ餌料藻類の造林技術開発に関する研究. 農林水産技術会議研究成果, 116, 1-61
- 58) 菊池泰二(1981)海産無脊椎動物の繁殖生態と生活史・産卵様式と幼生の発生様式. 海洋と生物, 3(4), 242-246
- 59) 菊池泰二(1982)海産無脊椎動物の繁殖生態と生活史・幼生定着時のすみ場所選択. 海洋と生物, 4(3), 171-176
- 60) 菊池泰二(1991)海産ベントス幼生生態学の現状. 月刊海洋, 23(10), 617-622
- 61) 気象年鑑(1974)日本気象協会, 気象庁監修, 大蔵省印刷局 56-57
- 62) 気象年鑑(1984)日本気象協会, 気象庁監修, 大蔵省印刷局 62-63
- 63) 気象年鑑(1995)日本気象協会, 気象庁監修, 大蔵省印刷局 239
- 64) 吉良哲明(1959)原色日本貝類図鑑, 保育社
- 65) 小金沢昭光(1978)マガキの種苗生産に関する生態学的研究. 日水研報, 29, 1-88
- 66) 小島 博(1974)徳島県海部郡におけるクロアワビ稚貝のすみ場について. ミチューリン生物学研究, 10(6), 155-160
- 67) 小島 博(1976)徳島県におけるクロアワビの生長に関する2,3の知見—1年形質と生長. 水産増殖, 23(2), 61-66
- 68) 小島 博(1985)徳島県由岐町阿部漁協のアワビの漁業管理による生産効果の推定. 栽培技研, 14(1), 7-11
- 69) 小島 博・中久喜昭・谷本尚則・石橋喜美子(1978)徳島県海部郡産クロアワビ資源の研究—海士漁業と資源特性値. 東海水研報, 93, 45-62
- 70) 今野敏徳・泉 伸一・竹内慎太郎(1985)漸深帯大型海藻の帯状分布に及ぼす波浪の影響. 東水大研報, 72(2), 85-97
- 71) 松宮義晴(1996)水産資源管理概論(水産研究叢書46). 日本水産資源保護協会, 東京, 76pp
- 72) 丸 邦義(1985)ホタテガイの種苗生産に関する生態学的研究. 北水試報, 27, 1-53
- 73) McShane, P.E.(1991) Density-dependent mortality of recruits of the abalone *Haliotis rubra* (Mollusca:Gastropoda). *Marine Biology* 110, 381-9.
- 74) McShane, P.E.(1992) Early life history of abalone: a review. In "Abalone of the World: Biology Fisheries and Culture". (Eds S.A. Shepherd, M.J. Tegner and S.A. Guzman del Proo) pp120-130. (Blackwell Scientific Publications: Oxford)
- 75) McShane, P.E.(1995) Recruitment variation in abalone: its importance to fisheries management. *Marine and Freshwater Research* 46, 555-570
- 76) McShane, P.E. and Smith, M.G.(1988) Measuring abundance of juvenile abalone *Haliotis rubra* Leach (Gastropoda: Haliotidae)- comparison of a novel method with two other methods. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 39, 331-336
- 77) McShane, P.E. and Smith, M.G.(1991) Recruitment variation in sympatric populations of the abalone *Haliotis rubra* (Mollusca: Gastropoda). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 73, 203-210
- 78) McShane, P.E. and Naylor, J. R. (1995) Depth can affect post-settlement survival of *Haliotis iris* (Mollusca: Gastropoda). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 187, 1-12
- 79) McShane, P.E., Black, K.P. and Smith, M.G. (1988) Recruitment processes in *Haliotis rubra* (Mollusca:Gastropoda) and regional hydrodynamics in south east Australia imply localised dispersal of larvae. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 124, 175-203.
- 80) McShane, P.E. (1996) Recruitment processes in abalone (*Haliotis* spp.) Watanabe, Y., Yamashita, Y. and Oozeki, Y. eds., *Survival Strategies in early life stages of marine resources*. 315-324. Rotterdam, A. A. Balkema
- 81) 三木 誠・糸俣長敬(1985)フクトコブシ漁場造成に関する研究—生態および環境調査とその造成計画について—。水産土木, 22(1), 35-45
- 82) 宮城県(1981)出島大規模増殖場開発事業調査報告書. 水産庁編, 1-71
- 83) 宮本建樹・齊藤勝男(1983)北海道日本海中部沿岸の腹足類浮遊幼生について. 北水試月報, 40, 74-97
- 84) 宮本建樹・磯貝辰彦・石井正史・伊藤雅一・水鳥純雄(1984)後志沿岸におけるエゾアワビ稚貝の成長について. 北水試月報, 4(2), 82-94
- 85) 宮崎一老(1957)二枚貝の産卵, 発生及び仔貝の習性について. 水産学集成, 東大出版会, 433-443
- 86) 宮崎一老(1962)二枚貝の浮遊幼貝 (Veliger) の識別について. 日水誌, 28, 955-966
- 87) Morse, D. E., H. Duncan, N. Hooker & A. Morse (1976) Hydrogen peroxide induces spawning in mollusks, with

- activation of prostaglandin endoperoxide synthetase. *Science*, 196, 298-300
- 88) Morse, D. E., N. Hooker, H. Duncan and L. Jensen (1979) γ -Aminobutyric acid, a neurotransmitter, induces planktonic abalone larvae to settle and begin metamorphosis. *Science*, 204, 407-410
- 89) 村越正慶・川口四郎(1986a)ヒメジャコの性成熟と漁獲禁止殻長. 日水誌, 52(10), 1701-1707
- 90) 村越正慶・川口四郎(1986b)ヒメジャコ生殖巣の季節的変動と禁漁期. 日水誌, 52(10), 1709-1714
- 91) 武藤清一郎(1985)三陸沿岸海域・物理. 日本全国沿岸海洋誌, 日本海洋学会, 東海大出版会, 220-231
- 92) 長崎県水産試験場(1980)昭和52, 53年度大規模増殖場開発事業調査結果報告書(平戸地区), 水産庁編, 1-57,
- 93) Nash, W. (1992) An evaluation of egg-per-recruit analysis as a means of assessing size limits for blacklip abalone (*Haliotis rubra*) in Tasmania. In "Abalone of the World: Biology Fisheries and Culture". (Eds S. A. Shepherd, M. J. Tegner and S. A. Guzman del Proo) pp318-338 (Blackwell Scientific Publications: Oxford)
- 94) Nash, W. J., J. C. Anderson, J. Bridley, D. Wideley, S. Dickson, B. Hislop, S. R. Talbot and A. J. Cawthorn (1995) Larval settlement of blacklip abalone (*Haliotis rubra*) on artificial collectors in southern Tasmania. *Mar. Freshw. Res.* 46; 531-538
- 95) 西川信良(1980)貝類種苗培養技術開発試験. 昭和54年度北海道栽セ事報, 1-8
- 96) 野中 忠(1983)静岡県田牛漁業協同組合のアワビ漁業と漁業管理の成果. 最新版つくる漁業, (社)資源協会, 465-475
- 97) 野中 忠(1987a)アワビ漁獲量の変動一・長期変動, 栽培技研, 16(2), 141-148
- 98) 野中 忠(1987b)アワビ漁獲量の変動一・漁獲規制との関係, 栽培技研, 16(2), 149-154
- 99) 能勢幸雄・石井丈夫・清水 誠(1988)水産資源学, 東京大学出版会, 東京,
- 100) 小畑千賀志(1986)アワビ屋外採苗について. 昭和60年度宮城栽セ事報, 91-94
- 101) 大橋智志(1993)クロアワビ底生期幼稚体における卵黄の吸収. 長崎水試研報, 19, 23-25
- 102) Preece, P. A., Shepherd, S. A., Clarke, S. M., and Keesing, J. K. (1997) Abalone stock enhancement by larval seeding: effect of larval density on settlement and survival. *Moll. Res.* 18, 265-273
- 103) Prince, J.D. and Ford, W.B. (1985) Use of anaesthetic to standardize efficiency in sampling abalone populations (genus *Haliotis*: Mollusca: Gastropoda). *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 36, 701-706
- 104) Prince, J.D., Sellers, T.L., Ford, W.B. and Talbot, S.R. (1987) Experimental evidence for limited dispersal of haliotid larvae (genus *Haliotis*: Mollusca: Gastropoda). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 106, 243-263
- 105) Prince, J.D., Sellers, T.L., Ford, W.B. and Talbot, S.R. (1988a) Confirmation of a relationship between the localised abundance of breeding stock and recruitment for *Haliotis rubra* (Mollusca: Gastropoda) *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 122, 91-104.
- 106) Prince, J.D., Sellers, T.L., Ford, W.B. and Talbot, S.R. (1988b) Recruitment, growth, mortality and population structure in a southern Australian population of *Haliotis rubra* (Mollusca: Gastropoda). *Mar. Biol.* 100, 75-82
- 107) 相良順一郎(1973)斧足類生活史研究に関する問題点一幼生の生態学, 海洋科学, 5, 192-196
- 108) 西洞孝広(1996)アワビ浮遊幼生と着底稚貝の動態. 東北ブロック増養殖研究連絡会議報告書, 39-44
- 109) 西洞孝広(1997)岩手県におけるアワビ栽培漁業の現状と課題. 日本水産学会東北支部会報, 47, 25-27
- 110) Sainsbury K. J. (1982) Population dynamics and fishery management of the paua, *Haliotis iris* I. Population structure, growth, reproduction, and mortality. *NZ J. Mar. Freshwat. Res.*, 16, 147-161
- 111) 齊藤勝男(1965)沿岸増殖における移植の諸問題一奥尻島のアワビ移植種苗について一水産増殖臨時号, 5, 32-44
- 112) Saito, K. (1981) The appearance and growth of 0-year-old abalone. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, 47(11), 1393-1400
- 113) 齊藤勝男・富田恭司(1965)礼文島船舶のエゾアワビについて. 北水試月報, 22(5), 9-25
- 114) Sakai, S. (1960) On the formation of the annual ring on the shell of the abalone, *Haliotis discus var. hannai* Ino. *Tohoku Journal of Agricultural Research*, 11(3), 239-244
- 115) 酒井誠一(1962a)エゾアワビの生態学的研究一I. 食性に関する実験的研究. 日水誌28(8), 766-779
- 116) 酒井誠一(1962b)エゾアワビの生態学的研究一III. 女川湾付近におけるエゾアワビの生産構造の解析. 日水誌28(9), 891-898
- 117) 酒井誠一(1962c)エゾアワビの生態学的研究一IV. 成長に関する研究. 日水誌28(9), 899-904
- 118) 佐々木良(1994)宮城県北部海域におけるエゾアワビ浮遊幼生の加入初期過程. 宮気水試研報, 9, 1-17
- 119) 佐々木良(1997)鮫の浦湾におけるマボヤ天然採苗機構に関する基礎的検討. 宮城水セ研報, 15, 51-59

- 120) Sasaki, R. and Shepherd, S. A. (1995) Larval dispersal and Recruitment of *Haliotis discus hannai* and *Tegula* spp. on Miyagi coasts, Japan. *Marine and Freshwater Research* 46, 519-529
- 121) 佐々木良・高橋寛爾・川村 亨・田代義和 (1987) 宮城県北部海区における放流エゾアワビの調査事例. 東北ブロック増養殖研究連絡会議報告書, 東北水研, 15-29
- 122) Schiel, D. R., and Breen, P. A. (1991) Population structure, ageing and fishing mortality of the New Zealand abalone *Haliotis iris*. *Fish. Bull.* 89, 681-691
- 123) 關 哲夫(1993)エゾアワビの発育過程と初期生活領域. 日本水産学会東北支部会報, 43, 10-14
- 124) 關 哲夫(1997)エゾアワビの種苗生産技術体系とその基礎となる生物学的研究. 東北水研研報, 59, 1-71
- 125) 關 哲夫・佐野 稔(1998)エゾアワビ資源管理の考え方. 東北水研研報, 60, 23-40
- 126) Seki, T. and Taniguchi, K.(1996) Factors critical to the survival of herbivorous animals during settlement and metamorphosis. Watanabe, Y., Yamashita, Y. and Oozeki, Y. eds., *Survival Strategies in early life stages of marine resources*. 341-354. Rotterdam, A. A. Balkema
- 127) 関口秀夫(1993)イセエビ類の生活史・生物地理. 海洋と生物. 15(6), 408-413
- 128) Shepherd, S.A. (1986) Studies on southern Australian abalone (genus *Haliotis*). VII. Aggregative behaviour of *H. laevigata* in relation to spawning. *Mar. Biol.* 90, 231-236
- 129) Shepherd, S.A. (1990) Studies on southern Australian abalone (genus *Haliotis*). X II. Long-term recruitment and mortality dynamics of an unfished population. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 41, 475-492
- 130) Shepherd, S. A. Kirkwood, G. P. and Sandland, R. L. (1982) Studies on southern Australian abalone (genus *Haliotis*). III. Mortality of two exploited species. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research* 33, 265-272
- 131) Shepherd, S. A. and Turner, J. A. (1985) Studies on southern Australian abalone (genus *Haliotis*). VI. Habitat preference and abundance and predators of juveniles. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 93, 285-298
- 132) Shepherd, S.A. and Breen, P. A. (1992) Mortality in abalone: Its estimation, variability and causes. In "*Abalone of the World: Biology Fisheries and Culture*". (Eds S. A. Shepherd, M. J. Tegner and S. A. Guzman del Proo) pp276-303 (Blackwell Scientific Publications: Oxford)
- 133) Shepherd, S. A., and Brown, L. D. (1993) What is an abalone stock: implications for the role of refugia in conservation. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50:2001-2009
- 134) Shepherd, S.A. and D. Partington (1995) Studies on southern Australian abalone (genus *Haliotis*). X VI. Recruitment, Habitat and Stock Relations. *Mar. Freshw. Res.* 46,
- 135) Shepherd, S. A., D. Lowe & D. Partington (1992) Studies on southern Australian abalone (genus *Haliotis*). X III. Larval dispersal and recruitment. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 164, 247-260
- 136) Shepherd, S. A., and Daume. S. (1996) Ecology and survival of juvenile abalone in a crustose coralline habit in South Australia. Watanabe, Y., Yamashita, Y. and Oozeki, Y. eds., *Survival Strategies in early life stages of marine resources*. 297-313. Rotterdam, A. A. Balkema
- 137) Shepherd, S. A., and Baker, I. L. (1998) Biological reference points in an abalone (*Haliotis laevigata*) fishery. In Proceedings of the North Pacific Symposium on Invertebrate Stock Assessment and Management. Edited by G. S. Jamieson and A. Cambell. *Canadian Special Publication Fisheries Aquatic Science*, 125, 235-245
- 138) Shepherd, S. A., Tegner, M. J., and Guzman del Proo, S. A. (Eds) (1992) *Abalone of the World. Biology, Fisheries and Culture*. (Fishing News Books; Oxford) 608 pp.
- 139) Shepherd, S. A., J. L. Baker and D. W. Johnson (1995) Yield-per-recruit and Egg-per-recruit Analyses of the Omani Abalone, *Haliotis mariae*. *Mar. Freshw. Res.* 46, 663-668
- 140) Shepherd, S. A., Guzman del Proo, S. A., Turrubiates, J., Belmar, J., Baker, J. L., and Sluczanowski, P. R. (1991) Growth, size at sexual maturity and egg- per-recruit analysis of the abalone *Haliotis fulgens* in *Baja California. Veliger*, 34, 324-330
- 141) 洪井 正(1982)岩手県宿戸漁業協同組合におけるアワビの増産実績とその背景. 栽培技研, 11(2), 9-13
- 142) 洪井 正(1984)岩手県におけるエゾアワビの生産変動と諸環境要因との関係. 栽培技研, 13(1), 1-20
- 143) 清水教高(1971)台風の通過度数および発生数の統計. 研究時報, 23, 205-215
- 144) Sissenwine, M. P., and Shepherd, J. G. (1987) An alternative perspective on recruitment overfishing and biological

- reference points. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Science*, 44, 913-918
- 145) Sloan, N. A. and Breen, P.A. (1988) Northern abalone, *Haliotis kamtschatkana*, in British Columbia: fisheries and synopsis of life history information. *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 103, 46pp
- 146) Sluczanski, P. R. (1984) A management-oriented model of an abalone fishery whose substocks are subject to pulse fishing. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Science*, 41, 1008-1014
- 147) Stekoll, M. S., and Shirley, T. C. (1993) In situ spawning behaviour of an Alaskan population of pint abalone, *Haliotis kamtschatkana* Jonas, 1845. *Veliger* 36, 95-97
- 148) Strathmann, R. R. (1986) What controls the type of larval development? Summary statement for the evolution session. *Bull. Marine Science*. 39(2)616-622
- 149) 水産庁(1996)アワビの再生産機構の解明に関する研究(平成3~7年度). 水産業関係特定研究開発等促進事業総括報告書, 1-128
- 150) 水産庁(1965-1995)昭和40年~平成6年漁業・養殖生産統計年報
- 151) 菅原義雄・小畑一臣(1992)エゾアワビ性成熟に関する組織学的研究. 石巻専修大学紀要, 3, 65-83
- 152) 仙台地方気象台(1990-1997)宮城県気象月報.
- 153) 高橋清孝・雁部総明・佐々木良(1987)宮城県中部沿岸におけるエゾアワビの資源解析. 宮城水試研報, 12, 42-60
- 154) 武田雷介・伊丹宏三(1979)淡路島南水域におけるクロアワビ稚貝の2,3の生態について. 兵庫水試研報, 19, 19-29
- 155) 武市正明(1984)岩手県沿岸のアワビ資源と管理. 日本水産学会東北支部会報, 34, 49-57
- 156) 武市正明(1988)大量放流されたエゾアワビ人工種苗の回収率と生残率. 栽培技研, 17(1), 24-36
- 157) 田中邦三(1988)千葉県安房地区におけるクロアワビの増殖に関する研究. 日水研報, 38, 21-132
- 158) 田中邦三・石田 修・田中種雄(1979)房総沿岸のアワビ稚貝場と流況について. 水産土木, 16(1), 67-75
- 159) 田中邦三・石田 修・坂本 仁・田中種雄(1980)房総半島沿岸のクロアワビの産卵期. ベントス研連誌, 1920, 51-58
- 160) 田中邦三・石田 修・田中種雄(1986 a)千葉県南部沿岸のアワビ稚貝場の地形並びに流況. 日水誌, 52(9), 1515-1523
- 161) 田中邦三・田中種雄・石田 修・大場俊雄(1986 b)千葉県南部沿岸のアワビ浮遊幼生並びに着底稚貝の分布. 日水誌, 52(9), 1525-1532
- 162) 田中種雄・田中邦三・石田 修・清水利厚・坂本 仁・目黒清美(1982)浜行川地先のアワビ稚貝場について. 千葉水試研報, 40, 83-98
- 163) 田中種雄・石田 修(1983)アワビ浮遊幼生の出現状況について. 千葉水試研報, 41, 1-10
- 164) Taniguchi, K. (1991) Marine afforestation of *Eisenia bicyclis* (Laminariaceae; Phaeophyta). *NOAA Technical Report NMFS*, 102, 47-57
- 165) 谷口和也(1996)牡鹿半島沿岸における漸深帯海藻群落の一次遷移. 日水誌, 62(5), 765-771
- 166) 谷口和也(1997)海藻群落の形成に関する生態生化学的研究. 日水誌, 63(3), 309-312
- 167) 谷口和也・鬼頭 鈞(1988)アラメ群落における年級群組成の変動. 日水誌, 54(9), 1583-1588
- 168) 谷口和也・佐藤美智男・大和田淳(1986)常磐沿岸におけるアラメ群落の変動特性. 東北水研研報, 48, 49-57
- 169) 谷口和也・佐藤陽一・長田 稔・末永浩章(1987)牡鹿半島沿岸におけるアラメ群落の構造. 東北水研研報, 49, 103-109
- 170) 谷口和也・蔵多一哉・鈴木 稔(1994)海藻のケミカルシグナルー生存戦略としての化学的防御. 化学と生物, 32, 434-442
- 171) Tegner, M. J., Breen, P.A. and Lennert, C.E. (1989) Population biology of red abalones, *Haliotis rufescens*, in southern California and management of the red and pink, *H. corrugata abalone* fisheries. *Fish. Bull.*, 87, 313-339
- 172) Thorson, G. (1950) Reproduction and larval development of marine bottom invertebrates. *Biol. Rev.*, 25, 1-45
- 173) 富田恭司(1967)礼文島エゾアワビの卵巣の成熟. 北水試報, 7, 1-7
- 174) 富田恭司(1968)礼文島エゾアワビの精巣の成熟. 北水試報, 9, 56-61
- 175) 富田恭司(1969)礼文島におけるエゾアワビ稚貝の出現状況. 北水試月報, 26(2), 6-12
- 176) 富田恭司・磯貝辰彦(1979)エゾアワビの浮遊幼生の垂直分布とその日周変動. 北水試月報, 36(4), 47-52
- 177) 富田恭司・田沢伸雄(1971)礼文島産エゾアワビ稚貝の胃内容物. 北水試報, 13, 31-38
- 178) 富田恭司・田嶋健一郎・工藤敬吾(1977)礼文島におけるエゾアワビの浮遊幼生および底生初期の稚貝. 北水試報, 19, 13-19
- 179) 富田恭司・田嶋健一郎・杉本 卓(1980)北海道北部日本海沿岸におけるエゾアワビの浮遊幼生・底生初期稚貝の出

- 現. 北水試月報, 37(7), 117-126
- 180) Tong, L. J., Moss, G. A., and Illingworth, J. (1987) Enhancement of a natural population of the abalone, *Haliotis iris*, using cultured larvae. *Aquaculture*, 62, 67-72
- 181) 土屋文人(1979) 粟島海域におけるアワビの浮遊卵・幼生の出現時間と分布について. 新潟栽漁セ業研報, 2, 58-67
- 182) 上野康弘・山崎幹雄(1987) 三陸沿岸における津軽暖流の季節変化. 東北水研研報, 49, 111-123
- 183) 内田 明(1994) 岩手県山田地区におけるエゾアワビの増殖について. 栽培技研, 23(1), 11-17
- 184) 内田 明(1995) 岩手県山田地区におけるエゾアワビの増殖について. 栽培技研, 24(1), 1-7
- 185) 宇田道隆(1953) 相模湾の急潮とその予知について. 日本海洋学会誌, 9, 15-22
- 186) 浮 永久・菊地省吾(1975) エゾアワビの酸素消費量と体重および温度との関係. 東北水研研報, 35, 73-84
- 187) 浮 永久・菊地省吾(1979) 付着微小藻類6種のエゾアワビ稚貝に対する餌料効果. 東北水研研報, 40, 47-52
- 188) 浮 永久・菊地省吾(1977) アワビ属の採卵技術に関する研究. エゾアワビの性成熟と摂餌量との関係. 昭和52年度日本水産学会春季大会講演要旨集. 58
- 189) 浮 永久・菊池省吾(1982) 外部環境要因による成熟・産卵の制御. 水産学シリーズ, 恒星社厚生閣, 41, 6479
- 190) Uki, N., Grant, J. F. and Kikuchi, S. (1981). Juvenile growth of the abalone, *Haliotis discus hannai*, fed certain benthic micro algae related to temperature. *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.*, 43, 59-64
- 191) 宇野 寛(1973) アワビ類に関する生態学的諸問題. 海洋科学, 5, 185-191
- 192) 山田 正(1998) 島根県東部沿岸のサザエ浮遊幼生の出現期と分布特性. 水産増殖, 46(1), 1-6
- 193) 山口正士(1987) サンゴ礁の磯根資源生物. 海洋と生物, 9(6), 402-407
- 194) 山下金義・市来忠彦・種村一成(1977) アワビ属幼生の着底生態について. 長崎水試研報, 3, 7278
- 195) 和田美鈴(1980) 熱帯低気圧の気候学. 海洋科学, 12(6), 399-406
- 196) 矢野 勲・小川良徳(1977) マダカアワビ浮遊幼生の鉛直分布に与える光、水温および水圧の影響. 東海水研報, 91, 19-27
- 197) 全国沿岸漁業振興開発協会(1983) アワビ. 増殖場造成指針, 増殖場造成指針作成委員会編, 地球社, 55-159