

沈下式金網生簀によるヒラメ養殖

The Flounder Culture by Bottom Set Wire Netting Cage.

杉山 秀樹

(秋田県水産振興センター)

1. はじめに

養殖施設の海中設置, 特に, 生簀網を海中の一定水深まで沈めて養殖を行うことについては, すでに, 1965年に海底魚田開発研究としてとりあげられ, 青森県(ホタテ貝を対象), 宮城県(サケ), 千葉県(アワビ), 三重県(アコヤ貝)で試験が行われている(小金沢等1967, 大場等1967)。これらは, 水質・水温・外力環境の比較的安定している海面の中底層利用という点(吉牟田1967)で非常に画期的なものであった。その後, この発想は沖合漁場利用養殖技術開発企業化試験(高知水試1978), 浮沈式網生簀養殖(建原1984)等に発展していった。しかし, これらの養殖方法及び対象種はそれぞれの地先の条件に合わせたものとなっており, 内湾が少なく開放的で広い砂底質を持つ日本海に適用できない面もあり, また, 経済性や管理の面で問題が残されている。

秋田県では, 1983~1985年の3年間国の委託により, 「男鹿周辺海域総合開発事業調査」を行い, この一環として, 1984年及び1985年の両年にわたり金網生簀を沈下させヒラメ養殖試験を実施し, 若干の知見を得たので報告する。

本文に入るに先立ち, 試験に協力していただいた台島漁業生産組合(鈴木定蔵組合長), 東京製網株式会社市川正和氏, 県水産振興センター職員の皆様々に感謝するとともに, 貴重な文献を貸与された東北水研小金沢昭光部長にお礼申しあげる。

2. 施設の構造及び設置

1984年は主として施設試験を, 1985年は養殖試験を行い, 表1に示すとおり, 生簀設置水深, 設置方法等は各年で異なっている。図1に設置地点を, 図2及び3に各年の施設構造と設置模式を示す。1985年は陸上で組み立てた生簀を台船のクレーンで吊り上げ設置地点まで運搬し, そこで生簀を水中に1m程沈め, あらかじめ台船上に準備しておいた放養魚を放養口から投入した。その後放養口をロープでしぼり, ワイヤロープを除々に延ばし着底させた。

(写真1及び2)

表1 1984年と1985年の設置条件の比較

項目	1984年	1985年
設置場所	台島地先距岸350m	台島地先距岸2,000m
設置水深	18m	50m
生簀構造	直径15m, 高さ2m スタンド20本使用	同左 改良スタンド10本使用
設置方法	250kgのアンカー4基で固定 生簀にフロートをつけ浮かべ曳航し, フロートを離し沈設	自重固定 台船のクレーンで吊りあげワイヤロープを除々に延ばし沈設
放養口	化繊網の筒を表層まで延長し, 生簀設置後に放養	84年の放養口を2mの長さで切断し, 生簀設置前に海上で放養し口をしぼる。
給餌口	φ65mmサクシジョンホース20m を表層まで延長	φ65mmサクシジョンホース50m を表層まで延長
放養魚の観察 飼育期間	スキューバ潜水 59年7月23日~8月27日までの36日間	水中ビデオ録画 60年6月4日~10月30日までの149日間

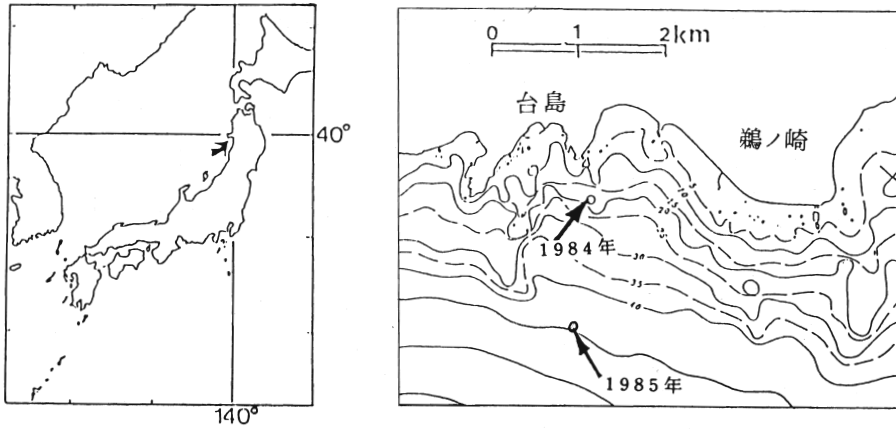


図1 沈下式金網生簀設置地点

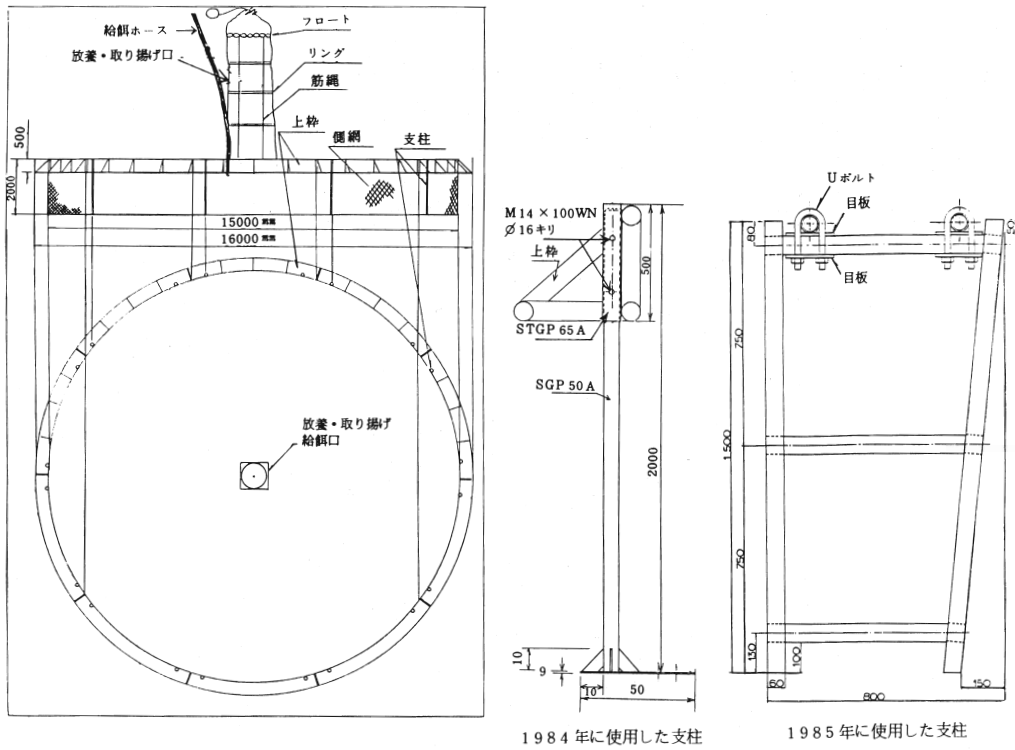


図2 生簀の構造

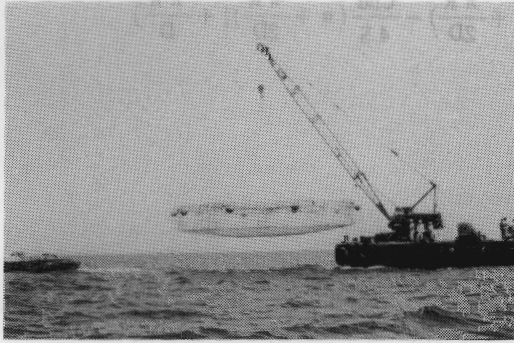


写真1 台船を用いた沈設作業

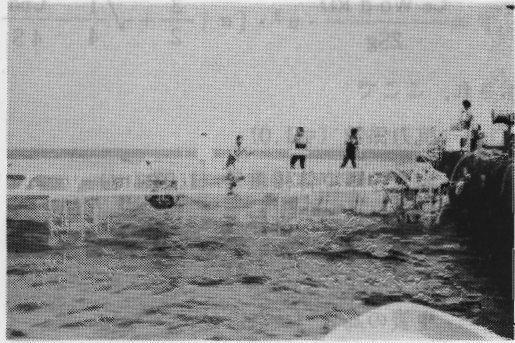


写真2 養殖魚の放養

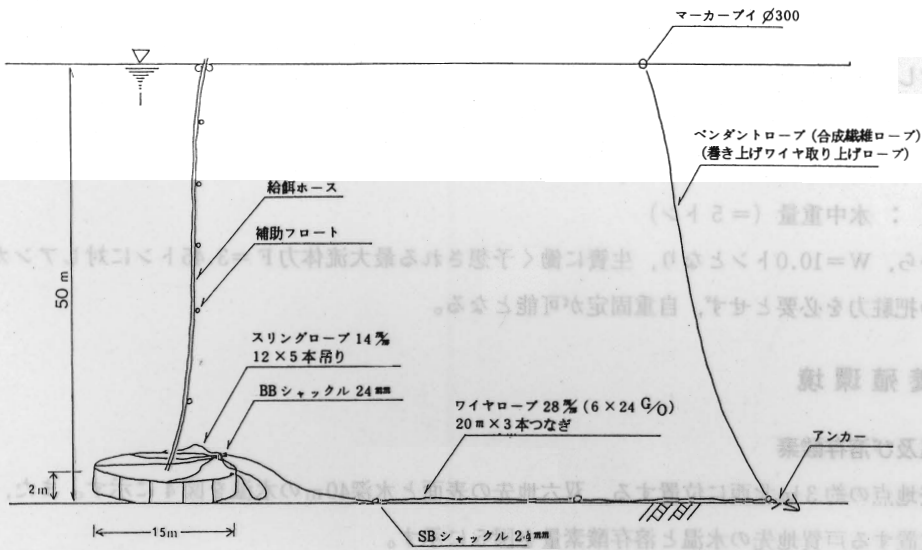


図3 設置概略図 (1985年)

1985年の設置条件は次のとおりである。

波高 $H = 12\text{ m}$

波長 $L = 178\text{ m}$

周期 $T = 11.0\text{ sec}$

潮流 $v = 0.25\text{ m/sec}$ (0.5knot)

水深 $h = 50\text{ m}$

また、波による水粒子の最大速度 u は、水平方向の水粒子の最大速度 u' と潮流速の和であることから

$$u' = \frac{\pi H \cos h \frac{2\pi(z+h)}{L}}{T \sin h \frac{2\pi h}{L}} = 1.21\text{ m/sec}$$

$$u = u' + v = 1.21 + 0.25 \doteq 1.5\text{ m/sec}$$

と見積もることができる。生簀に働く流体力 F は

$$F = \frac{C_D W_o d R D}{2 S g} \cdot u^2 \cdot \left[\alpha \left\{ \frac{3}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} - \frac{C_{Dd}}{4 S} \left(\alpha + \frac{\pi R}{2 D} \right)} - \frac{C_{Dd}}{4 S} \left(\alpha + \frac{\pi R}{2 D} \right) \right\} + \frac{\pi R}{D} \right]$$

で示され、ここで

C_D : 抗力係数 (=1.0)

w_o : 海水の単位体積重量 (1.03t/m³)

d : 金網ワイヤの直径 (=3.2mm=0.0032m)

R : 生簀の半径 (=7.5m)

D : 生簀の高さ (=2.0m)

S : 生簀の目合 (=30mm=0.03m)

α : 係数 (金網の場合=5.403)

であるから $F=3.45$ トンとなる。

これに対し、生簀本体の摩擦力 W は

$W=K \cdot W_w$ で示され、ここで

K : 把駐力係数 (=2.0)

W_w : 水中重量 (=5トン)

であるから、 $W=10.0$ トンとなり、生簀に働く予想される最大流体力 $F=3.45$ トンに対しアンカー等による別の把駐力を必要とせず、自重固定が可能となる。

3. 養殖環境

(1) 水温及び溶存酸素

調査地点の約3km北西に位置する、双六地先の表面と水深40mの水温を図4に示す。また、20km北西に位置する戸賀地先の水温と溶存酸素量を図5に示す。

両地区とも、表層水温が30℃近くに達する夏期においても、水深20m以深は26℃程度までしか上昇せず、逆に、秋から翌春にかけては深部の水温と表層水温が近接ないし逆転する場合が多い。このことは、ヒラメの好適水温帯が15～25℃(秋振せ未発表)であることを考慮に入れると、底層部でヒラメ養殖を行うことは表層水を取水して行う陸上施設より有利であると考えられる。

一方、水深30mの溶存酸素量は4～6月にかけて9ppm前後の高い値を示すものの、7月に入ると7～8ppmに低下する傾向を示す。しかし、ヒラメの場合5ppm程度あれば飼育に支障はないものと推察され、今回の結果は特に問題はないと考えられる。なお、1985年5月14日に生簀設置地点の水深50mでの測定結果は8.4ppm(水温11.5℃)であった。

(2) 底質

生簀設置地点における底質の粒度組成を表2に示す。1984年の水深18m地点に比べ、1985年の水深50m地点の方が粒径は細かく、浮泥の堆積が多い傾向を示している。これは、深所の方が波浪や潮流の影響が少ないことによるものと考えられる。

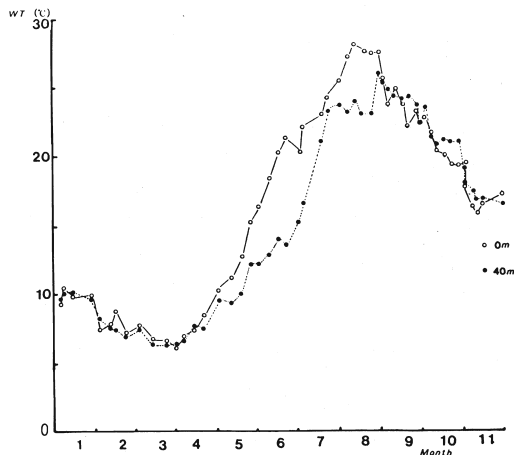


図4 双六地先における水温の推移

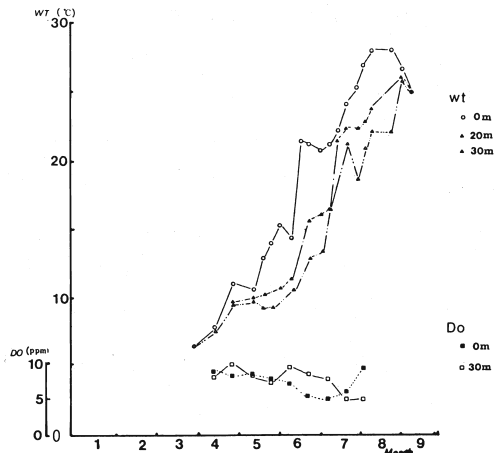


図5 戸賀地先における水温及び溶存酸素量の推移

(3) 波 高

生簀設置地点の波高記録がないことから、秋田市向浜波高計（距岸700m，水深27m）の記録に基づき，1984年の生簀設置期間中の波高と周期を表3に示す。

同年8月22日の台風10号接近時までの波高は， $H_{1/2} = 0.23 \sim 1.44\text{m}$ ， $H_{\text{max}} = 0.35 \sim 2.29\text{m}$ であった。しかし，台風10号通過時の8月23日には $H_{1/2} = 6.92\text{m}$ ， $H_{\text{max}} =$

11.95mを記録し， $H_{1/2}$ 5m以上の持続時間は12時間，6m以上は8時間であった。本海域における沖波推算確率波高は，1年では6.58m，30年では9.86mである（秋田港事務所1984）が，その時の波向，生簀設置地点の地形等も考慮に入れ，その影響を検討すべきであると考えらる。

表2 生簀設置地点の底質

粒 径	粒 度 組 成 (%)	
	1984年(18m)	1985年(50m)
礫 > 2mm	7.76	0.10
大 砂 > 1mm	31.19	0.18
中砂 > 0.5mm	55.90	0.97
小 砂 > 0.25mm	4.65	49.82
細 砂 > 0.125mm	0.21	33.33
微細砂 > 0.063mm	0.05	9.78
浮 泥 < 0.063mm	0.24	5.82

表3 生簀設置期間中の波高と周期（1984年）

月・日	7/23	24	25	26	27	28	29	30	31	8/1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H_{1/2}$ m	0.31	0.36	0.29	0.32	0.24	0.25	0.31	0.30	0.39	0.32	0.33	0.77	0.56	0.73	1.11	0.64	0.40	0.33
Hmax m	0.53	0.61	0.56	0.56	0.36	0.38	0.47	0.57	0.67	0.56	0.66	1.58	1.00	1.18	1.90	1.12	0.69	0.59
$T_{1/2}$ sec	2.5	2.4	2.6	3.9				2.5	2.9	3.3	3.1	4.1	4.4	3.8	5.6	5.3	5.1	4.9

月・日	8/10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
$H_{1/2}$ m	0.31	0.26	1.44	0.71	0.42	0.39	0.38	0.69	0.52	0.33	0.32	0.23	5.76	6.92	1.65	0.48	0.33	1.14
Hmax m	0.51	0.40	2.29	1.32	0.80	0.81	0.62	1.15	0.86	0.50	0.45	0.35	9.95	11.95	2.71	0.80	0.50	2.03
$T_{1/2}$ sec	3.8		5.1	5.8	2.8	4.7	4.5	5.1	5.6				9.6	10.3	7.0	3.1		6.2

4. 養殖施設の耐波・耐久性

(1) 耐波性

水深18mに設置した1984年には、台風10号通過4日後に潜水調査を行ったところ、フレーム・金網・給餌ホースには異常が認められなかったが、支柱20本のうち陸側の10本がフレームとの固定部で折れていた。これは、波浪により陸側を軸にその反対側（沖側）の一端が幾度となく持ちあがったため、強い応力が働き切断したものと推察された。なお、周辺の岩盤と生簀との位置関係、係留索の状態等から、施設本体の移動はなかったものと考えられる。

フレーム・金網はそのままの状態、支柱を交換し水深50mに設置した1985年は、設置期間中前年の台風10号と同程度の13号（ $H\frac{1}{3}=6.85\text{m}$ 、 $H_{\text{max}}=12.82\text{m}$ ）が適過したにもかかわらず、施設及び付帯設備にはまったく異常が認められなかった。

水深18mと50mとの水粒子の水平速度の比Rは、

$$R = \frac{\pi h \cos h \frac{2\pi(z+h)}{L}}{T \sin h \frac{2\pi(z+h)}{L}} \bigg/ \frac{\pi H \cos h' \frac{2\pi(z+h')}{L}}{T \sin h' \frac{2\pi(z+h')}{L}}$$

で示され、 $H \cdot L \cdot T$ を設置条件と同一とし $h = -18\text{m}$ 、 $h' = -50\text{m}$ とすると $R = 2.92$ となる。潮流を無視したとすると、流体力Fは R^2 に比例するので、 $R^2 = 8.5$

となり、水深50mで生簀に働く流体力は、水深18mの1/8.5になる。

このように、施設を水深50m程度の深所に設置することにより、現在の構造で耐波性は十分に得られるものとする。

(2) 耐久性

底枠及び上枠に使用した亜鉛メッキ鋼管と亜鉛メッキ金網は2カ年（海中設置通算6カ月、陸上放置通算9カ月）使用したが、金網の破損、付着生物による汚れ、錆の出現等はまったく認められなかった。生簀製作メーカー（東京製網株式会社）によれば、製作時の亜鉛浸漬メッキ付着量は $500\text{g}/\text{m}^2$ であったが、2カ年使用後の金網の亜鉛付着量は上部で、 $354.4 \pm 50.5\text{g}/\text{m}^2$ （ $n=7$ ）、底部で $383.0 \pm 64.9\text{g}/\text{m}^2$ （ $n=8$ ）であった。このことからすると、この金網は未だ1年間程度は使用できるものと推察された。また、桑（1983）が行ったとおり、これを電気防食することにより、その耐用年数を倍以上に延長することが可能と考えられ、本施設を使用した長期養成についても検討できるものと推察される。

(3) 構造上の問題

水深18m及び50mに設置した生簀の潜水観察では、生簀底部や支柱が海底に埋没することはなく、（写真3）問題は認められなかった。また、水深50mでは施設が移動することはなく、当初の計算どおり自重固定が可能であり、特別の係留装置を必要としないことが確認された。

放養兼取り揚げ口は中央部に1ヶ所設けただけであったが、支障は認められなかった。放養魚の取り揚げに際しては、台船クレーンで生簀を適当な水深になるまで吊り上げることにより、放養魚は底網中央のタワミに集まり、その直上にある取り上げ口から容易に搬出することができた。（写真4）



写真3 水深50m水中撮影

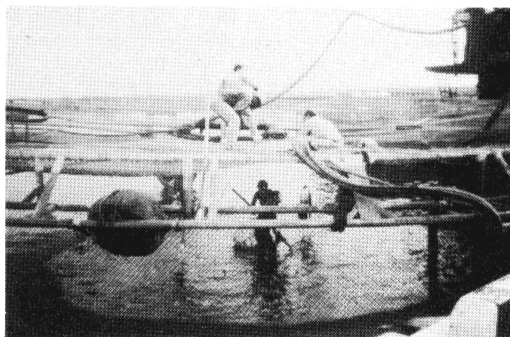


写真4 放養魚の取り揚げ

一方、放養兼取り揚げ口の端に付設した給餌のための径65mmのサクシオンホースは、餌料は落下するものの、生簀内での餌料の拡散範囲は狭く、今後改善の余地があるものと考えられる。

5. 養殖試験

1984年は施設試験と並行し、養殖予備試験として7月23日にヒラメ500尾（全長 30.3 ± 2.6 cm，体重 256.4 ± 60.0 g）の放養を行った。その結果餌料は給餌ホースを通り自然落下するとともに、放養魚はそれを摂餌すること、生簀内で放養魚は安定した状態であること等が判明した。しかし、前述の台風10号通過4日後の8月27日に潜水観察したところ、放養魚の全数が斃死していた。これは、施設設置周辺底質の漂砂の移動限界水深が台風通過時には16.5m程度と算出されることから、設置水深が浅かったため漂砂により放養魚が損傷し斃死したものと推察される。

次に、1985年に行った養殖試験について述べる。試験結果の概要を表4に示す。

(1) 放養及び放養魚の観察

6月4日に放養したヒラメは、1984年に生産した人工種苗2,072尾（全長 28.5 ± 3.6 cm，体重 299.9 ± 71.6 g）と小型定置網に乗網し約1年間飼育したものの199尾（全長 36.0 ± 2.4 cm，体重 508.6 ± 107.3 g）計2,271である。これと同時に、1984年に生産したクロソイ120尾（全長 16.0 ± 1.8 cm，体重 69.4 ± 25.9 g）を放養した。

試験期間中に3回の潜水観察と1回の中水TV観察を行った。その結果、餌は給餌ホース内を落下するのに約10分間かかること、底面に静止していたヒラメは餌の落下とともに給餌口に集まってくること、ヒラメは遊泳しながら餌をくわえるが着底した餌も摂餌すること、生簀周辺に生簀からの逃亡個体と推察されるクロソイが10尾以上認められたこと、等を確認した。

(2) 給 餌

餌料はすべて冷凍イカナゴを用い、半解凍した状態で給餌ホースから入れた。養殖期間中の日間給餌率は3～5%とし、総給餌量約3トンを計画していたが、実際には約1.8トンしか給餌できなかった。これは、海上の波浪により給餌作業が困難な日が多く、表5に示すとおり、飼育日数の42.3%しか給餌できなかったためである。

表4 沈下式金網生簀養殖試験結果(1985年)

項	目		ヒラメ	クロソイ	備考
飼育期間			6月4日~10月30日	同 左	
飼育日数	D	日	149	同 左	
放養尾数	N ₀	放養時の総尾数	2,271	120	ヒラメ及びクロソイを混養していたためFの値は、クロソイの増肉係数を4と仮定し、各々のFの値を求めた。
放養重量	W ₀	総体重	722.6	8.3	ヒラメに認められた不明尾数は、斃死によるものと考えられる。
放養平均体重	w ₀	W ₀ /N ₀	318.2	69.4	クロソイに認められた不明尾数は、放養魚体が小さかったため網目から逃亡したものである。
取揚げ尾数	N ₁	取揚げ時の総尾数	2,032	41	
取揚げ重量	W ₁	総体重	970.4	11.8	
取揚げ平均体重	w ₁	W ₁ /N ₁	477.6	288.7	
不明尾数	N ₂	N ₀ -N ₁	239	79	
不明重量	W ₂	N ₂ ×(w ₀ +w ₁)/2	114.1	14.1	
原物給餌量	F	期間の総給餌量	1,710.6	70.4	
増重量	W ₃	W ₁ -W ₀	247.8	3.5	
補正増重量	W ₄	W ₁ +W ₂ -W ₀	361.9	17.6	
成長倍率		w ₁ /w ₀ ×10 ²	150.09	415.99	
尾数歩留り		N ₁ /N ₀ ×10 ²	89.48	34.16	
原物餌料効率	C ₀	W ₃ /F×10 ²	14.49	4.97	
補正餌料効率	C ₁	W ₄ /F×10 ²	21.16	25.0	
日間成長率		log(w ₁ /w ₀)/D/loge×10 ²	0.27	0.96	
日間給餌率		log(W ₁ /W ₀)/D/loge/Co×10 ⁴	1.37	4.75	
増肉係数		F/W ₄	4.73	4.0	

表5 給餌日数(1985年)

	飼育日数(A)	給餌日数(B)	B/A
6月	27日	21日	77.7%
7月	31	11	35.5
8月	31	10	32.3
9月	30	16	53.3
10月	30	4	13.3
計	149	63	42.3

(3) 歩留り

ヒラメの生残率は89.5%であった。これは陸上施設での同サイズのものの一般値である85~99% (秋振セ未発表) と比べ、特に問題はないものと考えられる。なお、約10%の減耗要因は不明であるが、9月23日の潜水観察時にも斃死個体が数尾認められたことから、放養の際のストレスに起因したのではない別の要因もあったものと推察される。

ヒラメと混養したクロソイの生残率は34.2%と極めて低かった。これは、放養魚が小型であったため、生簀放養口の網目から逃亡したことによるものと考えられ、実際、生簀沈下時に多数の個体が脱け出たとともに、潜水観察においても生簀周辺で放養魚と同サイズのものを認めている。

(4) 成長

ヒラメとクロソイの放養及び取り揚げ時の体重組成を図6に示す。

ヒラメの増重率は150%、日間成長率は0.27%であった。一方、これと同サイズのものを5月~11月まで陸上施設で養殖試験を行った結果は、それぞれ148.8%、0.23%であり、両者に顕著な差は認められなかった。

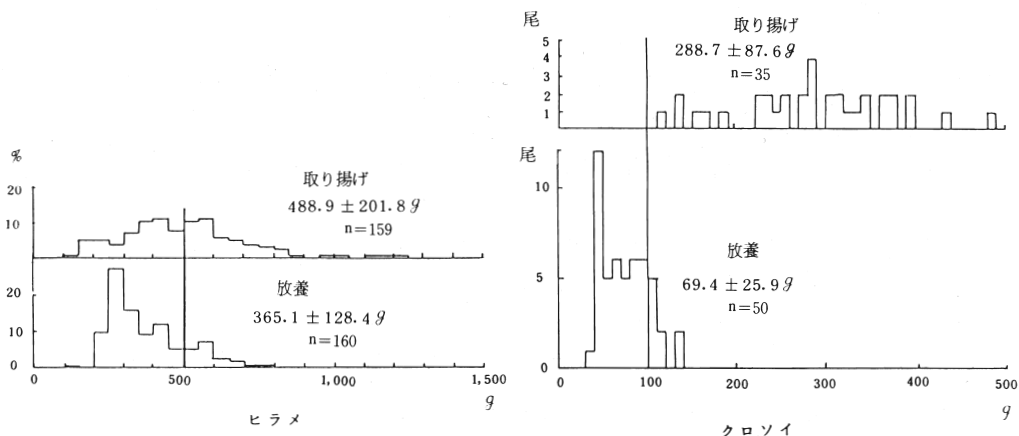


図6 ヒラメ及びクロソイの体重組成

また、ヒラメ養殖では養成魚に成長差が大きく出ることが知られているが、今回の結果でも放養時のバラツキ (CV=0.351) に対し、取揚げ時 (CV=0.413) の方が大きくなった。これは、給餌量が規定より少なかったこと、餌料が生簀内で十分に拡散しなかったこと等が影響したものと推察される。

クロソイの増重率は416%、日間成長率は0.96%であった。一方、同サイズのものを4~10月まで小割養殖試験を行った結果は、それぞれ248%、0.53%であり、今回の結果は著しく良い値を示している。これは、小型魚が逃げ大型魚だけが残ったこと、網生簀では25℃を超えると摂餌量が著しく減少するが今回は生簀を50mに沈めたことにより飼育水温が適したこと等があげられるものと考えられる。

(5) 餌料効率

ヒラメとクロソイを混養したため、それぞれの正確な餌料効率は得られなかった。そこで、放養量の極めて少ないクロソイの餌料効率を本種の一般的値である25.0% (秋振セ未発表) とし、ヒラメのそれを算出した。その結果、ヒラメの餌料効率は21.2%となり、陸上施設における18~24%とほぼ同様の値を示した。このことから、餌料は有効に利用され、生簀外への逸散はほとんど無かったものと推察された。

(6) 魚病

取り揚げたヒラメのほぼすべての個体は、*Cyprocarion irritans* の着生によるかん水性白点病に罹患していた。また、多くのものに、皮膚吸虫の寄生が認められた。しかし、硫酸銅及びトリクロロホンによる薬浴を行った結果、この両者を速やかに駆除することができた。

クロソイは取り揚げに際し、約5気圧の水圧差のため全個体の腹部が膨張し、腹側を水表面に浮かべた状態になった。このため取り揚げ後直ちに注射針を用い空気抜きを行ったが、翌日に6尾(14.6%)が斃死した。

6. 経 済 性

今回の結果に基づき、定置網で漁獲される小型の天然個体を用い、次の条件により沈下式金網生簀養殖を行った場合の生簀1基当たりの収支の推定を行った。

放養：30尾/m²とし、400g/尾のもの5,000尾放養。

養殖期間：6～11月まで。

取り上げ：生残率を0.9とし、4500尾を取り揚げ。

給餌量：増重量300g/尾、餌料効率20%とする。

これによる試算を表6に示すが、実際には複数の生簀を使用することにより、さらに効率的な養殖が可能になるものと考ええる。

また、給餌方法の改善、金網生簀の小型化、冬期を含む通年養殖、金網生簀と陸上施設との組合せ養殖等について検討することにより、日本海に適した海面養殖の開発とともに、定置網漁業者に養殖業を導入することによる経営の安定化や、商品価値の極めて低い天然小型ヒラメの有効利用が図られるものと考ええる。

表6 金網生簀養殖による収支試算

科 目	金 額	内 訳
漁 業 収 入		
生産物収入	11,025,000円	ヒラメ3,500円/kg×4,500尾×0.7kg = 11,025,000円
漁 業 支 出		
雇用労賃	600,000円	投餌人夫 3,000円×1人×2000日 = 600,000円
油 費	30,000円	船外機用 150円/ℓ × 200ℓ = 30,000円
餌 料 代	878,000円	イカナゴ 130円/kg × 6,750kg = 878,000円
種 苗 代	3,600,000円	ヒラメ種苗 1,800円/kg×2,000kg = 3,600,000円
賃借料及び料金	600,000円	台船備船 250,000円× 2回 = 500,000円 活漁車借上げ50,000円× 2回 = 100,000円
販売手数料	1,103,000円	ヒラメ販売代金11,025,000円×0.1 = 1,102,500円
減価償却費	1,677,000円	金網生簀2,500,000円×0.9÷2 (耐用年数) = 1,125,000円 蓄養槽一式10,000,000円×0.9÷20 (耐用年数) = 450,000円 F・R・P船 900,000円×0.9÷8 (耐用年数) = 102,000円
小 計	8,488,000円	
損 益	2,537,000円	

7. 文 献

- 秋田港事務所（1984） 秋田市向浜波高記録：未発表
- 小金沢昭光・石田信正・鈴木建次・後藤邦雄・門部秀昌（1967） シロザケ、ニジマスの表層と中層生簀飼育の比較，水産土木3（2）：37-40
- 高知県水産試験場（1978） 沖合漁場利用養殖技術開発企業化試験－暖流系魚類－，高知県水産試験場事業報告書74：118-120
- 桑 守彦（1983） 金網生簀の腐食と防食，日水誌49（2）：165-175
- 農業土木学会水産土木研究部会（1980） 水産土木ハンドブック：494pp，緑書房，東京
- 大場俊雄・高柳健・江野口隆二・佐藤新・田中邦三・中村勉・遠山忠次（1967） アワビの海底施設による蓄養について，水産土木3（2）：41-44
- 建原 敏彦（1984） 佐渡海域総合開発調査事業，マダイ養殖，新潟県栽培漁業センター業務，研究報告書7：63-68
- 吉牟田長生（1967） 深部養殖施設について，水産土木3（2）：11-16

[質 疑 応 答]

- 奈倉（富山水試） 給餌場所までの離岸距離はどれくらいか。
- 杉山 1.5km。給餌は付近の定置網漁業者に委託した。
- 武野（富山栽セ） 実際の企業化では種苗の収容，取り上げ時期はどうか。また冬の給餌はどうするのか。
- 杉山 10月以降に人工種苗を入れて1年半後に取り上げる。冬期は水温が下がり，陸上飼育の結果からも摂餌量は減ると考えられるので，天候によって給餌できないことが多くても問題はないと思う。