

鳥取県水産試験場報告

第35号 1998年(平成10年)5月

鳥取県におけるヒラメ人工種苗放流技術の開発に関する行動・生態学的研究 ……古田晋平 1

鳥取県におけるヒラメ人工種苗放流技術の開発に関する 行動・生態学的研究*¹

古 田 晋 平*^{2 3}

Behavioral and Ecological Studies on Release Techniques of Hatchery-reared Japanese Flounder *Paralichthys olivaceus*

Shinpei Furuta

Summary

A sea-farming program has been conducted for 18 years in Tottori Prefecture located along the western part of the Sea of Japan. The number of juvenile flounders released exceeds, however the number of fish recaptured is lower than we expected. The major factors inhibiting effectiveness are believed to be the quality of reared juveniles released, and releasing tactics related to the ecology of juveniles in nursery areas. Since the former factor has been improved by recent advances in seedling-production techniques, we have concentrated our effort on improving the releasing techniques, particularly to be more precise about timing after the release. Our recent results indicate that flounder should be released after consideration of seasonal changes in prey and predator distribution and abundance. In this article I describe the ecological processes determining the survival of juvenile flounder, from laboratory experiments and field observations.

1. Mortality of Hatchery-reared Japanese Flounder Juvenile : Field surveys were conducted to determine the mortality rate of released fish, and the abundance and distribution of wild juvenile flounder, their preys and predators.

* 1 : 本論文は京都大学審査学位論文である (The present work is a dissertation that was submitted as a partial fulfillment of the requirements for Doctor's degree of agriculture at Kyoto University in 1998).

* 2 : 鳥取県水産試験場 栽培漁業部 (Tottori Prefectural Fisheries Experimental Station, Division of Cultural Fisheries, Ishiwaki, Tomari, Tohaku-gun Tottori Prefecture 689-0602, Japan).

* 3 : 現在, 鳥取県農林水産部大規模活性化プロジェクト推進室 (Present address: Large Scale Activation Project Promotion Office, Agriculture, Forestry and Fisheries Department, Tottori Prefectural Government, Higasi-machi, Tottori-city 680-8570, Japan).

1-1 Changes in distribution, growth and abundance of hatchery-reared Japanese flounder released in a coastal area of Tottori prefecture : Changes in distribution, growth and abundance of released juvenile flounder were investigated in the coastal area of Tottori Prefecture from 1989 through 1991. Flounder juveniles were directly counted by divers along transect lines at 6 depths between 0.5m and 13m. Beam trawl samples were taken and densities were estimated using gear efficiencies obtained by comparison between number of fishes collected by the trawl and the number counted by divers. Released juveniles were found mainly in waters shallower than 10m, and showed nearly the same distribution pattern as wild juveniles. A significant length increase was not observed in recaptured flounder. The number of reared juveniles rapidly decreased during the first week after release and the retention rate after the 1st week ranged from 3.5 % to 26.9 %. Based on changes in distribution and growth after release, the author concluded that the rapid reduction in the number of released juveniles was caused by high mortality. Causes of mortality of released and wild flounder are discussed in relation to the abundance of prey and predation by piscivorous fishes.

1-2. Changes in feeding condition of released hatchery-reared Japanese flounder and prey mysid density in the coastal area of Tottori prefecture : To investigate factors influencing mortality of restocked Japanese flounder changes in condition of hatchery-reared and wild Japanese flounder juveniles and density of mysids as the main diet of flounder juveniles were studied in the coastal area of Tottori Prefecture from 1989 to 1991. Food-intake of reared flounder was lower, and the incidence of empty-stomachs was evidently higher than in wild flounder. Hatchery-reared flounder were released in June and July and showed a rapid decrease in condition after release. Mysid abundance was highest in April and May, then a marked decrease in abundance occurred in June. Condition factor of wild flounder also declined markedly in late June and July. These findings suggest that poor condition of reared flounder after release was caused by a combination of poorly developed feeding ability for wild prey and the seasonal reduction of mysid density. It is speculated that poor condition of flounders enhanced vulnerability to predation.

1-3 Predation by fishes on hatchery-reared Japanese flounder juveniles released in the coastal area of Tottori Prefecture : Stomach contents of piscivorous fishes were examined to investigate their predation pressure on hatchery-reared Japanese flounder released in coastal areas of Tottori Prefecture (1989-1991). Released flounder were taken frequently by 1-age group Japanese flounder, bartail flathead and sea bass primarily during early days after release. We observed few incidences of predation on wild flounder juveniles by piscivorous fishes in the same study area. This suggests that reared juveniles are more vulnerable to predation than wild flounder due to behavioral differences. Abundance of 1-age group Japanese flounder and flathead in the area was estimated from May to July by divers counts. Cumulative predation estimated from stomach content analysis and abundance of predatory fishes accounted for a substantial part of the estimated mortality. Other potential sources of mortality, particularly predation by nocturnal predators are discussed.

2. Comparison of feeding behavior of wild and hatchery-reared Japanese flounder juveniles by laboratory experiments : Feeding behavior of hatchery-reared and wild Japanese flounder juveniles was compared to determine whether behavioral differences might lead to higher vulnerability of reared flounder to predation. Laboratory experiments using a video observatory system were conducted to analyze feeding behavior including quantification of time of swimming in the water column, distance from the initial to settled position, swim-up height from the bottom and the pattern of swimming course. Swimming courses were classified into 3 types according to the extent that flounder returned to their initial position. Wild flounder showed rapid feeding behavior and returned near the initial position, while reared flounder spent significantly longer periods in the water column and settled on the bottom at a distance from the initial position. These findings suggest that

hatchery-reared flounder are more vulnerable to predators than wild flounder due to longer exposure in the water column and frequent change of settling location. Differences in feeding behavior found between reared and wild flounder may explain high mortality of hatchery-reared flounder immediately after release.

3. Effects of starvation on feeding behavior and predation vulnerability of wild Japanese flounder juvenile : Feeding behavior of wild Japanese flounder juvenile with progress in starvation was examined to determine whether starvation could increase vulnerability of wild flounder to predation. Laboratory experiments were conducted using a video observatory system to analyze feeding behavior of juvenile flounder such as time of swimming to water column, swimming-course and number of attack in a feeding behavior under starvation up to 7 days. Experiments showed that longer starved juveniles spent longer time in water column and returned farther from the initial position. The number of attack in a feeding behavior increased in a few days after onset of starvation.

Fed juvenile flounders were not preyed by 1- or 2 year-old flounders, while 3 to 7 days starved flounders were preyed in the laboratory experiment. These findings suggest that wild juvenile flounder change feeding behavior toward more vulnerable to predators with progress in starvation primarily due to longer exposure in water column and frequent changes of landing position. These changes in feeding behavior found in the laboratory suggest that high mortality of juveniles would occur associated with seasonal reduction in prey mysid abundance in their nursery ground.

4. Seasonal changes in abundance, length distribution, feeding condition, predation vulnerability of juvenile Japanese flounder and prey mysid density in the Tottori coastal area : Seasonal changes in abundance, length distribution, food intake and condition factor of wild Japanese flounder juvenile, density of mysid as the main diet and stomach contents of 1 and 2 group Japanese flounder as the main predator of flounder juveniles were studied in the Tottori coastal area in 1994. While the abundance in larger group of flounder juvenile decreased from the near shore nursery in early June, that for smaller group showed a rapid decrease since mid or late June. The equivalent size distribution to the smaller group was not found in the length frequency of juveniles which emigrated to the offshore nursery. This finding suggests that heavy mortality occurred in juvenile flounders in the nearshore nursery. Predation incidence of juveniles by 1 and 2 group flounders significantly increased in late June and kept high until late July. Food intake and condition factor of juveniles decreased after mid June. Mysid abundance showed a rapid reduction coupled with decreases in food intake and condition factor of juveniles. Based on these findings a mechanism of mortality caused by starvation-induced predation was suggested.

5. Substantiation of the effects by release of reared Japanese flounder juveniles Early in the Season : Base on starvation-induced predation observed in the wild flounder juveniles (1989-1991), the tactics for releasing were changed in 1993 by earlier production of hatchery reared juvenile and a sooner release in May. A significantly increase in the condition factor was showed during the first 10 days after release when the juveniles were released in mid May at which time mysid abundance was seasonally high. The juveniles growth increased more rapidly with a May release. A sharp increase in the ratio of recaptured fish were showed after a change of release tactics. These results suggest that releasing fish early in the season helps prevent both starvation and starvation-induced predation.

目 次

緒 言	6
第 1 章 ヒラメ人工種苗の減耗実態	7
1-1 放流種苗の分布, 成長および個体数変動	7
研究の背景と目的	7
材料と方法	9
結 果	10
考 察	16
1-2 放流種苗の摂餌状態と餌料条件	19
研究の背景と目的	19
材料と方法	19
結 果	19
考 察	24
1-3 放流種苗の被食	26
研究の背景と目的	26
材料と方法	26
結 果	27
考 察	32
第 2 章 人工種苗と天然魚の摂食行動の比較	35
研究の背景と目的	35
材料と方法	35
結 果	37
考 察	40
第 3 章 天然稚魚の飢餓が被食に及ぼす影響	42
研究の背景と目的	42
材料と方法	42
結 果	44
考 察	48
第 4 章 天然稚魚の減耗実態	51
研究の背景と目的	51
材料と方法	51
結 果	52
考 察	59
第 5 章 資源添加効果の実証	61
研究の背景と目的	61

材料と方法	61
結 果	63
考 察	66
第6章 研究成果に対する総合考察	68
本研究の目的と成果	68
残された課題	69
要 約	70
謝 辞	72
引用文献	73

緒 言

ヒラメ *Paralichthys olivaceus* は、近年、我国の栽培漁業対象種の中で最も重要な魚種に位置付けられ、1995年には2,263万個体もの人工種苗が全国37都道府県で放流されている。我国におけるヒラメ人工種苗の放流による資源増大の試みは、1980年代以降、国や都道府県の主導の下に進められてきたが、近年ではより受益者に近い漁協や第三セクターなどに主体が移って事業化が急がれている。しかし、これまでに放流の効果が明らかにされている事例はごく限られ、また効果の発現を妨げている原因についても未だ明確にされていない部分が多い。

一般に、ヒラメ人工種苗は放流初期に大きく減耗し、放流海域における分布量は短期間に著しく低いレベルになることが知られている。また、放流海域に分布する魚食性魚類の胃内容物から人工種苗が多数出現することから、主な減耗要因として被食が推定されている。さらに、放流後の人工種苗は同じ海域に分布する天然稚魚に比べて摂餌量が少なく、肥満度が低下することから、飢餓による行動の変化が被食による減耗の背景になっている可能性も推定される。しかし、人工種苗の減耗過程の定量的な把握は極めて不十分であり、被食のメカニズムや対応策を検討する材料に乏しい現状にある。一方、放流海域の多くは、もともと天然ヒラメ稚魚の分布域でもあり、これら天然稚魚にも大きな減耗が生じている可能性が指摘されていることから、人工種苗を効果的に資源に添加するためには、天然稚魚の減耗要因をはじめとする資源への加入条件を把握することが重要である。しかし、これらに関する知見も断片的にしか得られていない現状にある。

そこで、本研究では、鳥取県沿岸域に放流されたヒラメ人工種苗の減耗実態を野外調査によって明らかにし、さらにその減耗要因を行動学的手法を用いた水槽実験によって検討した。また、天然稚魚の減耗実態とその要因についても野外調査と水槽実験によって検討し、天然資源への加入条件に関する仮説を立てた。そして、その仮説に基づいて人工種苗の放流方法に改良を加え、野外調査と市場調査によって人工種苗の資源添加効果を実証した。

第1章 ヒラメ人工種苗の減耗実態

1-1 放流種苗の分布、成長および個体数変動

研究の背景と目的

鳥取県沿岸の浅海域では、1970年代よりヒラメ人工種苗の放流が行われているが、大量(1ヶ所10万個体以上、年間50-120万個体)に放流した人工種苗のほとんどは、ごく短期間に放流海域から姿を消し、その後、県内の水揚市場においてもほとんど出現しない状態が続いた。¹⁾ また、放流海域において採集したヒラメ1-2歳魚とマゴチの胃内容物から大量のヒラメ人工種苗が出現することから、放流後の人工種苗の減少要因の一つとして被食による減耗が推定された¹⁾ しかし、周辺海域への逸散も含めた放流後の減少要因の定量的な把握は、調査の困難さなどのため極めて不十分であり、被食が減耗に及ぼす影響の大きさや対応策を検討する材料に乏しかった

そこで、鳥取県沿岸浅海域において1989年から1991年に放流された人工種苗と天然当歳魚(以下「天然魚」と記す)を対象に潜水による直接計数と漁具による定量採集を併用し、放流後の分布、成長および個体数変動を明らかにする調査を実施した。本章ではこれらの追跡調査の結果を述べ、個体数の減少要因に考察を加える。

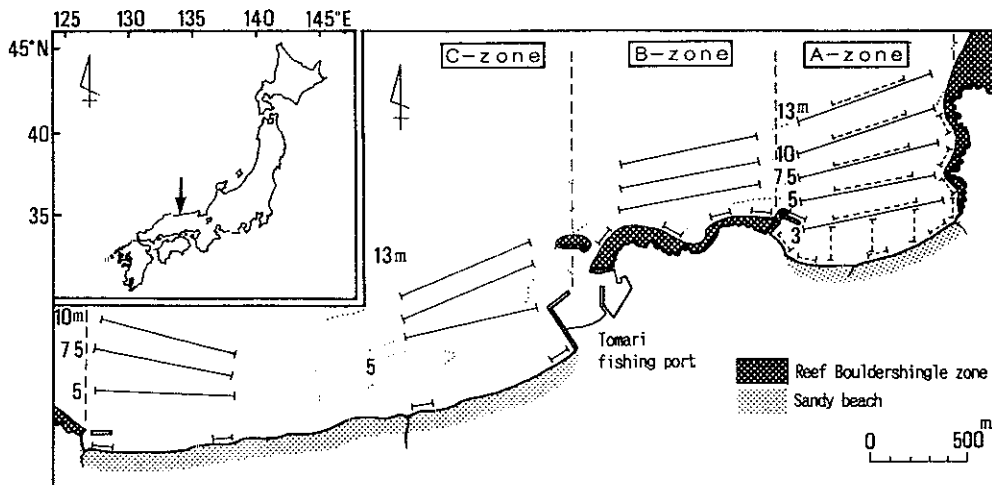


Fig. 1. Location of the surveyed area for released and wild juvenile flounders

Solid and dashed lines indicate sampling lines by a beam trawl and transect lines by Scuba-divers, respectively

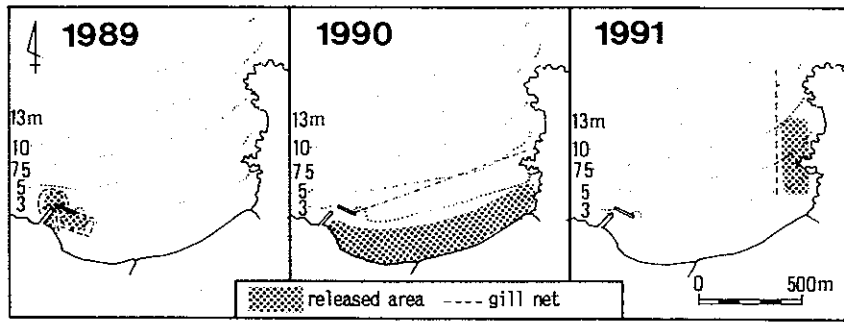


Fig. 2. Released areas in 1989 through 1991

Gill nets were set outside the released areas to protect released flounders from predation by piscivorous fishes

Table 1. Details of release for hatchery-reared flounder in a coastal water of Tottori Prefecture (1989 through 1991)

Year	Group name	Date of release	Total length of flounders (mm)*	Number of released flounder ($\times 10^{-3}$)	Number of marked fishes ($\times 10^{-3}$)
1989	A	13-14, June	55.3 \pm 6.0	226	22.3
	B	23-24, June	51.9 \pm 7.7	262	19.3
	C	5-6, July	76.4 \pm 7.8	218	20.3
	D	13, July	77.5 \pm 9.1	40	40.0
Total				746	101.9
1990	A	15, June	41.6 \pm 6.7	111	111
	B	22, June	52.0 \pm 5.3	20	20
	C	4, July	68.9 \pm 7.6	200	31
	D	10, July	76.2 \pm 7.8	32	32
	E	18, July	92.9 \pm 9.3	135	31
	F	24, July	90.4 \pm 11.0	30	30
Total				528	255
1991	A	10, June	63.1 \pm 5.3	168	0
	B	11, June	62.9 \pm 4.0	182	0
	C	12, June	63.1 \pm 3.7	134	0
	D	14, June	60.2 \pm 3.5	36	0
Total				520	0

* mean \pm S.D

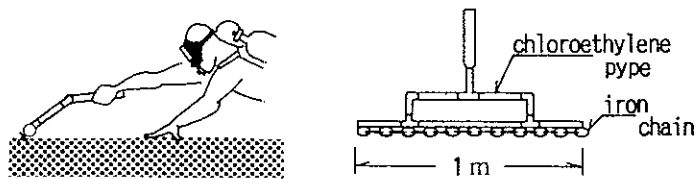


Fig. 3. Schematic illustration of a counting method of juvenile flounder by divers along the transect line with a special equipment.

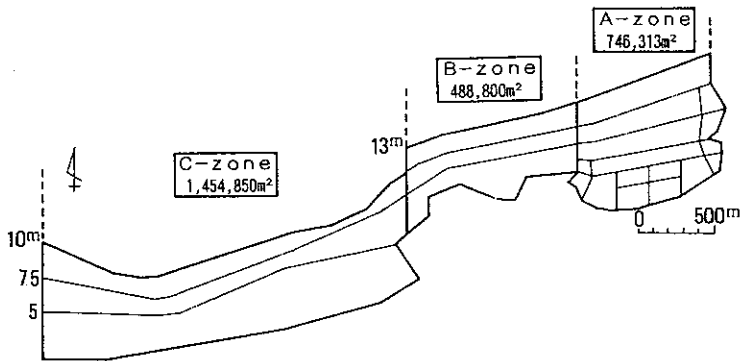


Fig. 4. Division of the surveyed area to estimate the flounder abundance by quadrat method

材料と方法

1989年から1991年に鳥取県栽培漁業センターにおいて生産されたヒラメ人工種苗を鳥取県中部に位置する泊村地先のA海区に放流した(Fig. 1)。このうち、1989年にはA海区西端に設置された防波堤の周辺で集中的に、1990年には水深3m以浅の全域に広く、また1991年には東端岩礁域周辺の水深7.5m以浅で集中的に放流した(Fig. 2)。放流に際し、捕食魚の侵入を防ぐ目的で放流域の外側に刺網(目合い5cm, 網文 1.5m)を放流後2日から5日間設置した。各年の放流は種苗生産の工程に応じて4回から6回に分けて行われ、1回の放流個体数は20,000から262,000個体であった(Table 1)。なお、1989年と1990年の人工種苗の一部には群の識別のためにアリザリン コンプレクソン(ALC)またはラテックスによる標識を施した。

放流した人工種苗の追跡調査のために、放流場所を含む東西約5kmの海域を、海岸線の地形からA, B, Cの3海区に分けた(Fig. 1)。このうち、A海区は準内湾性の砂浜海岸、B海区は外海に面した岩礁海岸、C海区は外海に面した開放的な砂浜海岸として性格づけられる。なお、放流場所としたA海区は東縁を北方に水深約15mまで延びる岩礁域で遮断されていることと、当海域付近では稚魚期のヒラメの主要な分布域が水深10m以浅と考えられている²⁾ことから、ここより東方での調査は行わなかった。各調査海区のうち、A海区では水深13m以浅の等深線、または岩礁域縁に沿って設定した100mから400mの調査定線上におけるヒラメの分布個

体数をスキューバ潜水による直接計数(以下「潜水計数」と記す)と、等深線に沿って設定した600mから850mの調査定線におけるビームトロール(ビーム長 3m, 目合い7mm)を用いたヒラメ当歳魚(人工種苗, 天然魚)の採集を併せて行った。また, B海区とC海区では等深線に沿って設定した750mの調査定線においてビームトロールによる採集のみを行った。潜水計数では, あらかじめ敷設した100m~400mのコースロープに沿った1m幅の海底を潜水計数用具(Fig. 3)を用いて掃海することにより, 逃避するヒラメの個体数を直接数えた。また, ビームトロールの曳網距離は起点と終点に設置した浮標の位置を六分儀を用いて測定することにより求めた。

潜水時の人工種苗と天然魚の識別は, 放流初期には人工種苗の有眼側が天然魚より明らかに黒っぽい色調を示すため, これによった。放流後約1週間以降では有眼側の色調による識別が困難となるため, 各調査定線でのビームトロールによる採集個体に占める人工種苗の比率を無眼側に発現していた黒色素をもとに求め, これを用いて潜水計数個体数に占める人工種苗を間接的に求めた。潜水計数によって把握した各定線上におけるヒラメ当歳魚の分布密度を基にA海区におけるビームトロールの採集効率を各調査日ごとに算出し, B海区とC海区では入網個体数をこの値で補正し曳網定線ごとの分布密度を推定した。さらに, 各海区におけるヒラメ当歳魚の現存量を推定するために, 調査定線を基準にした区画を調査海域内に設定し(Fig. 4), 定線ごとに得た分布密度を用いて区画法(層別抽出)³⁾による推計を行った。採集したヒラメ当歳魚はその場で10%海水ホルマリンで固定し, 持ち帰って魚体の測定に供した。

結 果

分 布 人工種苗の放流後の移動を把握するために, 一群で10万個体以上の放流を比較的長い期間をあけて行った1990年のA群, C群およびE群放流後の7日から10日目までの各潜水計数定線上における分布密度を天然魚の密度とともにFig. 5 に示した。これより, 各放流群とも, 捕食魚の侵入を防ぐために設置した刺網に妨げられることなく, ごく初期より分布域を広げていることが判る。この間の人工種苗の分布密度は深所(水深10-13m)では常に極めて低く, 浅所(水深10m以浅)に分布の中心をもちながら低下する傾向がみられる。3群のうちでは, C群とE群で浅所の岩礁域周辺に集中する傾向が強かった。1989年と1991年に放流した人工種苗にも同様の傾向が認められた。一方, 同海域に分布する天然魚は, 6月下旬以降, より浅所(7.5m以浅)へ集中する傾向が強まり, さらに7月に入ると岩礁域周辺に集中する傾向が強くなったが, このような季節的な分布様式は同時期の人工種苗とほぼ同様であった。

全長組成 A海区で採集した人工種苗と天然魚の全長組成の季節的変化をFig. 6 からFig. 8 に示した。1989年(Fig. 6)には天然魚と同等かあるいはこれをやや上回るサイズの人工種苗を放流したにもかかわらず, 採集したヒラメに占める人工種苗の出現比率は放流終了後の7月17日の29.3%を最大に, 7日後の7月24日には21.8%に, さらに23日後の8月11日にはわずか4.2%にまで減少した。しかも, C群, D群の放流時と, その後の調査で採集した人工種苗の全長の平均値には, いずれにも5%以下の危険率で有意な差は認められず, この間, 明瞭な成長を示

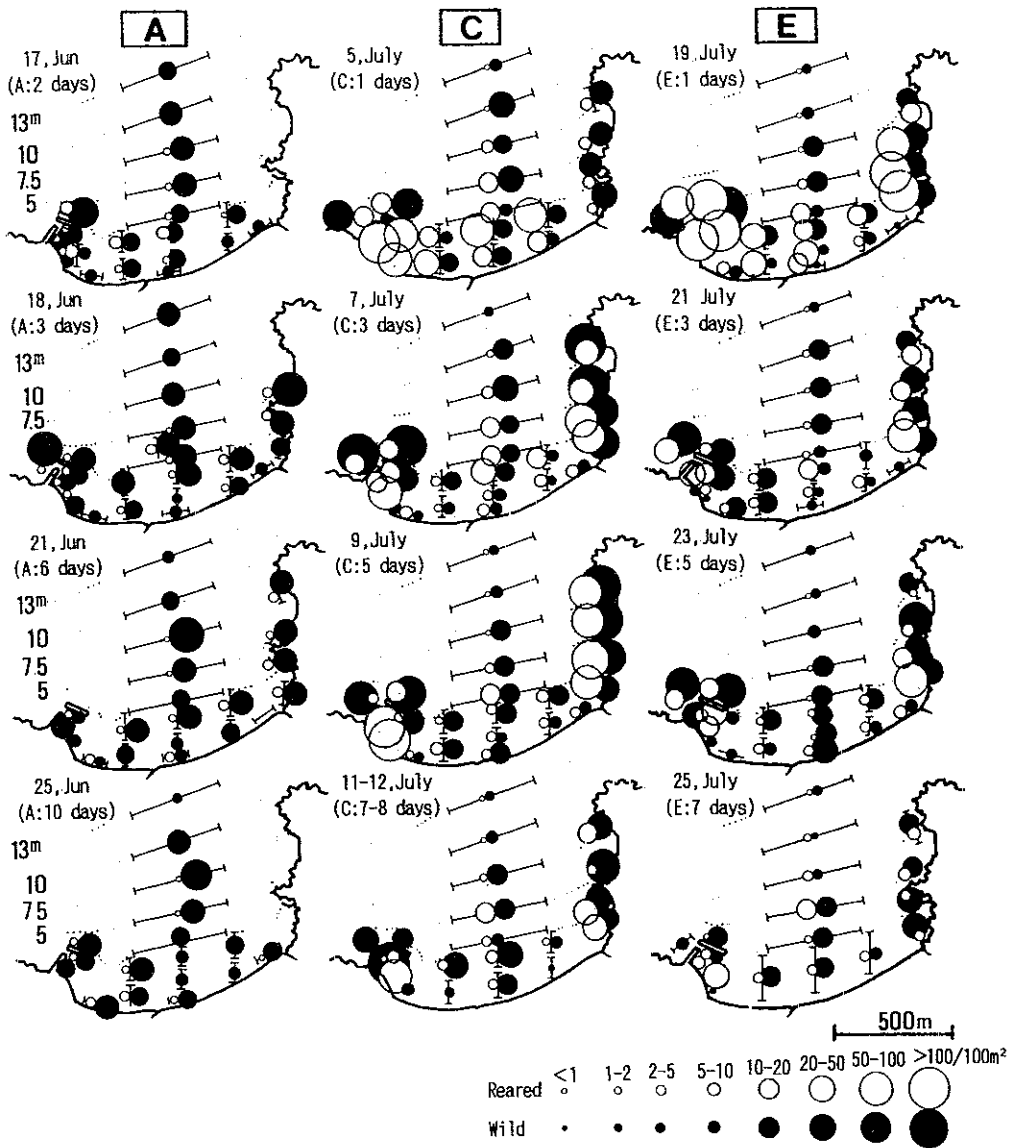


Fig. 5. Changes in distribution and abundance of reared and wild juvenile flounders estimated by divers after releases in 1990

Days after release are shown in parentheses A,C and E indicate the name of the release as shown in Table 1

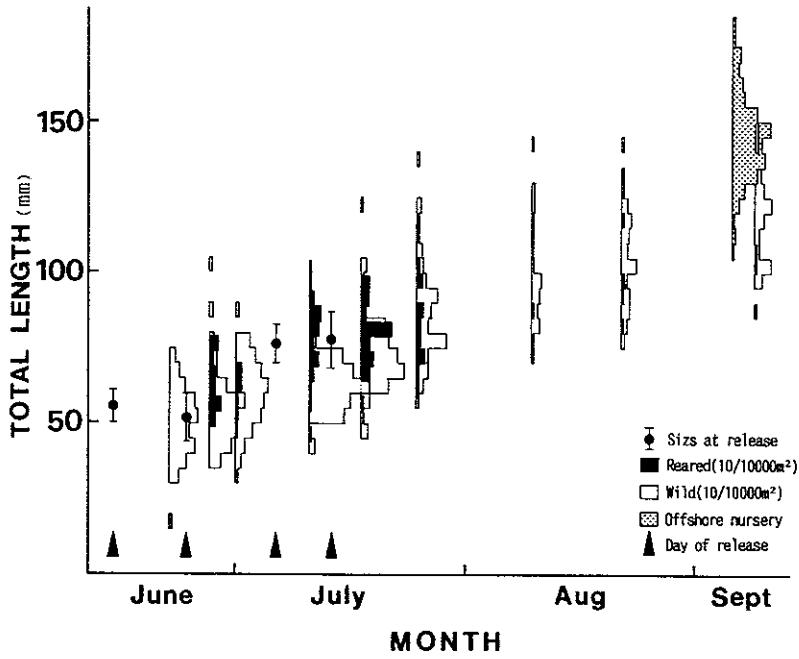


Fig. 6. Seasonal size-distribution shift of 1989 year-class 0-group flounder (reared and wild) in the A-zone.

Number of fishes at each 5mm size class is shown by per 10,000m²

Size-distribution at offshore nursery was obtained from juveniles collected by a beam trawl (10m beam) in 30 to 50m depth, only showing a size-distribution

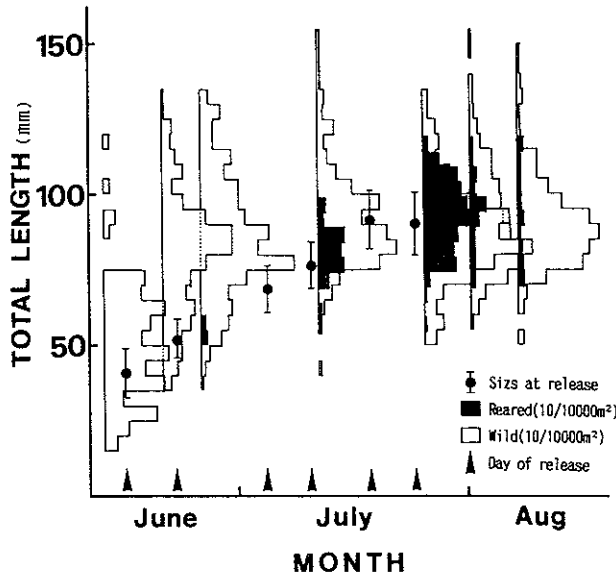


Fig. 7. Seasonal size-distribution shift of 1990 year-class 0-group flounder (reared and wild) in the A-zone

Number of fishes at each 5mm size class is shown by per 10,000m².

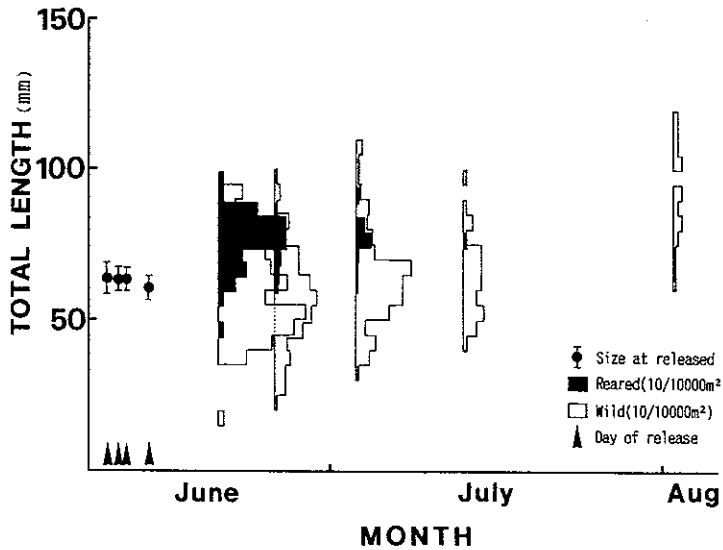


Fig. 8. Seasonal size-distribution shift of 1991 year-class 0-group flounder (reared and wild) in the A-zone
 Number of fishes at each 5mm size class is shown by per 10,000m²

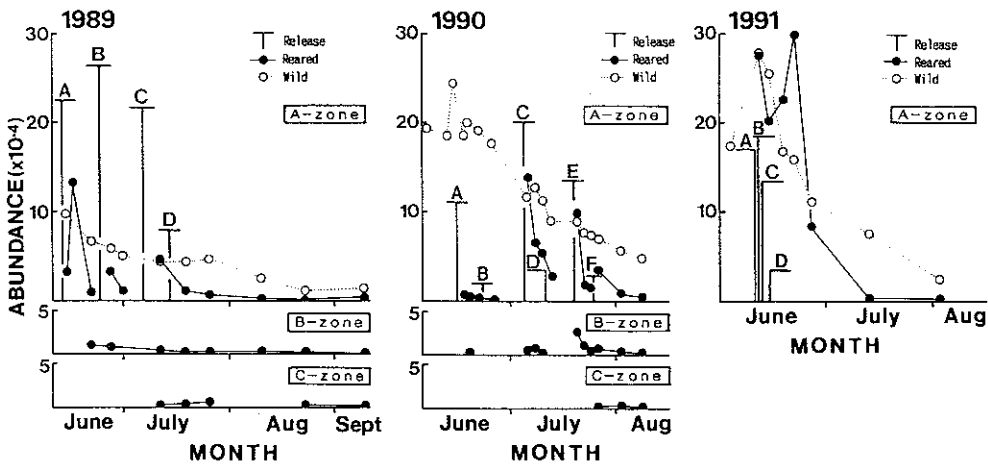


Fig. 9. Seasonal changes in abundance of 0-group flounder (reared and wild) in the experimental areas (1989 through 1991).
 A to F indicate the name of release as shown in Table 1

すことなく、多くの個体は全長10cm以下でこの海域から姿を消した。さらに、このような人工種苗の全長組成は、9月8日に当海域の沖合い(水深30-50m)で小型底曳網(桁長10m、袋目合い4.3cm)によって混獲された当歳魚の全長組成とは著しく異なり、人工種苗の混獲は全く認められなかったことから、人工種苗の多くが成長とともに深所に移動したとは考えられない。

1990年に天然魚よりやや小型で放流したA群は放流5日後の6月21日に行った調査の結果、こ

Table 2. Survival rate and total mortality coefficient of each released group of flounder in 1989 and 1990.

Year	Group	days after release	Abundance	Survival rate (%)	Total mortality coefficient
1989	A	0	226,000	100.0	0.358
		2	136,089	60.2	
		7	19,391	8.6	
1989	B	0	262,000	100.0	0.521
		2	39,509	15.1	
		6	9,695	3.7	
1989	C	0	218,000	100.0	0.369
		4	49,855	22.9	
1990	A	0	111,000	100.0	0.507
		2	6,645	6.0	
		3	6,238	5.6	
		6	3,878	3.5	
1990	C	0	200,000	100.0	0.268
		1	142,756	71.4	
		3	72,068	36.0	
		5	53,878	26.9	
1990	E	0	135,000	100.0	0.419
		1	113,643	84.2	
		3	27,022	20.0	
		5	20,456	15.2	

の海域の全長組成には全く反映されなかった(Fig.7)。さらに、天然魚と同等のサイズで放流したE群とF群の出現比率は放流1-7日後の7月25日には33.5%を占めていたが、8月1日には11.0%に激減し、さらに6日後の8月7日には6.0%にまで減少した。しかも、E群、F群の放流時とその後の調査で採集した人工種苗の全長の平均値には、いずれにも5%以下の危険率で有意な差は認められず、この間、明瞭な成長を示すことなく、やはり多くの個体は全長10cm以下でこの海域から姿を消した。

放流を6月中旬に集中的に行った1991年では、放流終了6日後の6月20日の全長組成はやや天然魚を上回り、この間の全長は1日当たり平均1.63mmと急激に増大し放流時の全長の平均値との間に5%以下の危険率で有意な差が認められた(Fig.8)。しかし、その後は明瞭な成長は認め

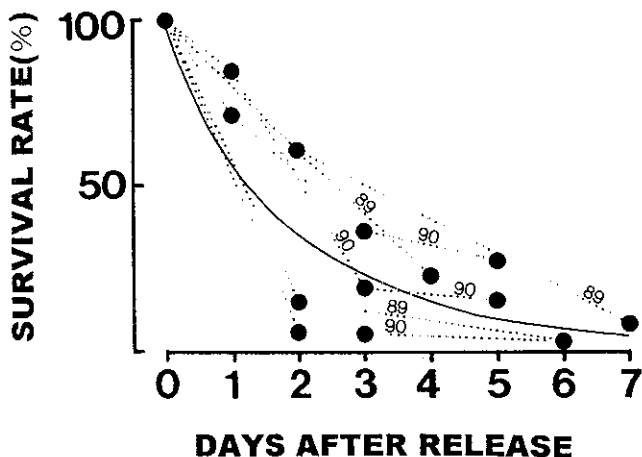


Fig. 10. Changes of survival rate for released flounders at each experimental release in 1989 and 1990.

Solid line represents mean survival curve of release A,B and C in 1989 and A,C and E in 1990 (Table 2).

られず、出現比率も6月20日の33.3%から6月25日の6.3%へとわずか5日間で激減し、やはり多くは全長10cm以下でこの海域から姿を消した。

一方、これらの図から、天然魚にも6月下旬以降、次第に成長速度が鈍り、1989、1991年には分布密度も急激に低下していることから、人工種苗と同様に、全長10cm以下でこの海域からいなくなる個体がかかなりの数にのぼることが推測された。

個体数変動 A海区における潜水計数値をもとに推定した各調査定線上でのビームトロールの採集効率は4.6%から27.5%の範囲であり、約6倍の変動を示した。採集効率は特に波浪時に低く、また浅所に比べて深所で低い傾向が認められた。潜水計数により直接求めたA海区における人工種苗と天然魚の現存量、或いは採集個体数に占める人工種苗の比率をもとに推定した両者の現存量の推移、ビームトロールの採集効率を考慮して推定したB海区とC海区における人工種苗の現存量の推移をFig. 9に示した。A海区における人工種苗の現存量の低下は、3か年ともに天然魚に比べてはるかに急激であった。B海区とC海区においても放流後に人工種苗の分布が確認されたが、その現存量は常にごく低いレベルであった。比較的広い間隔をあけて放流日を設定した1989年と1990年では、各放流群ともに放流後の現存量の低下は急激であり、その量は短期間にごく低いレベルにまで低下した。これらの結果より、各群の放流後の日数の経過に伴うA、B、C海区を対象とした放流群ごとの現存量、生残率および全減少係数を推定し、Table 2に示した。これより、両年に放流した各群の生残率は放流後4日から7日には3.7%から26.9%の範囲となり、その全減少係数も0.268から0.512と放流群によって大きく変動した。しかし、それぞれの値には放流時期や放流量との相関は認められなかった。これら2か年にわたる6回の放流試験の結果をまとめ、放流後の経過日数(t)と生残率(S)の関係を求めた結果、 $S = 83.13 e^{-0.43t}$ ($r = 0.82$) が得られ、当調査海域における人工種苗の現存量が放流初期ほど急激

に減少する傾向にあったことが推定された(Fig. 10)。

一方、A海区における天然魚の現存量は3か年ともに6月上旬から中旬に最大値を示し、その値は約10万個体から28万個体(0.13~0.38個体/m²)であった。その後、現存量は減少に転じ、その減少傾向は何れの年でも6月中旬から下旬にもっとも著しかった。また、ピーク時の現存量が多い年ほど、その後の減少傾向は著しく、各年とも7月中旬には約4万個体から8万個体(0.04~0.11個体/m²)となった。

潜水観察 A海区において行った潜水計数の際に、ヒラメ当歳魚とともにヒラメ未成魚(1および2歳魚)とマゴチが多く分布していることが観察された。このうち、ヒラメ未成魚は7月以降、特に岩礁域縁辺の砂底に多く、その高密分布域はヒラメ当歳魚のそれとほぼ重複していた。一方、マゴチが岩礁域付近で見られることはほとんどなく、その分布特性はヒラメとは異なっていた。また、A海区で広く見られた遊泳性のアマ類は、6月中旬以降、岩礁域縁辺を除いてほとんど見られなくなる様子が各年に共通して観察された。

考 察

ヒラメ稚魚の個体数判定方法 ヒラメ稚魚の分布量の推定は、これまで多くの場合、曳網漁具による入網個体数と曳網距離や面積を基に行われてきた。実際の現存量を求めるためには、この方法で得た値を採集効率によって補正する必要があるが、その効率は海況条件や時刻など多くの要素によって変動する可能性が指摘されてきた。⁴⁾ 当調査において用いたビームトロールの採集効率にも曳網日によっては約6倍もの変動が示されたことから、漁具による採集個体数を直ちに分布量とみなすことには大きな危険が伴う。したがって、分布量の調査に際しては、直接、潜水によって計数を行うことが好ましいが、採集漁具を用いる場合には、少なくとも調査時ごとの採集効率を把握しておくことが必要と考えられる。また、漁獲性能の低い漁具ほど採集効率の変動倍率が大きいことから、これが分布量推定値の誤差をさらに大きくすることが予測される。曳網漁具を用いたヒラメ稚魚の分布量調査の今後の展開には、より高い漁獲効率の採集漁具の開発が不可欠と考えられる。

人工種苗の減少要因 当調査で放流したヒラメ人工種苗は何れの場合にも放流海域(A海区)において初期ほど急激に減少し、その現存量は短期間でごく低いレベルにまで低下する実態が確認された。このような減少要因には調査海域からの逸散と死亡とが考えられる。このうち、海岸線に沿った方向への逸散については、A海区に約1 kmの範囲で隣接したB海区と、さらにそれを隔てた西側約1kmから3.5kmの範囲に位置するC海区における人工種苗の現存量が常にごく低いレベルであったことから、この方向への大量の移動はなかったと推定される。一方、放流後の人工種苗の分布密度は深所(水深10-13m)では常にごく低く、放流魚の多くは浅所(水深7.5m以浅)に集中しながら全体的に減少していることから、この間、沖合い方向への大量の移動があった可能性も低いと考えられる。なお、ヒラメ当歳魚は全長10cmから12cm程度で食性がそれまでのアマ類主体から魚類へと変化し、これに伴って浅海域の成育場から沖合いへと生

息域を拡大することが報告されている。⁵⁻⁷⁾ 当調査で得られたA海区におけるヒラメ当歳魚の全長組成と分布量からは、人工種苗の多くは全長10cmに達することなく当海区内で減少していることが示された(Figs.6-8) この点からも、この間、人工種苗が大量に沖合いへ拡散した可能性は低いと考えられる。したがって、放流海域における人工種苗の主要な減少要因としては逸散の可能性は少なく、死亡によって著しい減耗が生じたと判断された。

当調査で放流した人工種苗のサイズは、多くの場合、同海域に分布する天然当歳魚の全長範囲に含まれたが、放流群によってはその平均全長は天然魚を上回る場合もあった。また、放流後の分布様式も、同時期の天然魚とほぼ同様な傾向を示していたことから、両者はほぼ同じ条件下にあったと考えられる。それにもかかわらず、同海域における両者の個体数の変化には顕著な差が認められ、人工種苗は天然魚より減耗率が著しく高いと考えられた。近年、放流したヒラメ人工種苗の主要な減耗要因として、魚食性魚類による被食が注目されている。⁸⁻¹¹⁾ 当放流海域においても、潜水観察により、ヒラメ人工種苗の捕食者として注目されているヒラメ未成魚やマゴチがかなりの量分布していることが確認されている。このため、当海域において放流後の初期生残率を高める放流技術を開発するためには、両種によるヒラメ人工種苗の被食実態を定量的に解明することが不可欠と考えられる。

一方、本県沿岸域におけるアミ類の分布量は、一般に5月に最大値を示し、6月から7月に急減する傾向にあることが知られている。¹²⁾ これまでに報告されたヒラメ稚魚の飢餓耐性に関する実験¹³⁻¹⁴⁾ から、当調査で放流されたサイズのヒラメ人工種苗はかなり長期の飢餓でも死亡することはなく、放流初期の死亡に短期間の飢餓が直接関わる可能性は低い。しかし、稚魚の減耗要因として飢餓の進行が被食を高める可能性が指摘されており、¹⁵⁾ 放流されたヒラメ人工種苗の場合にも、このような餌料環境の悪化が引き金となって被食に結びつくことは十分予測される。

天然魚の減耗 A海区における天然魚の現存量は各年とも6月中旬をピークとして、その後約1か月間で大きく減少した。その減少要因の一つには、成長に伴う沖合いへの生息域の移動があるものと考えられる。しかし、アミ類が著しく減少する7月以降にも10cm以下の個体かなりの数で浅海域にとどまっていることが確認され、それらはその後あまり成長をしないまま現存量を減じている傾向が認められた。また、1989年の結果では、その全長組成のかなりの部分は、夏期以降に沖合い域に移動して水深30~50mに分布する十分に成長した群とは体長差が著しいことから(Fig.6)、7月以降に浅海域にとどまっていた全長10cm以下の個体の主要な減少要因が成長にともなう深所への移動とは考えにくい。これらの事実は、成育場への加入期間が長く¹⁶⁾ 成育場における全長範囲が広い当海域の天然魚にも、その全長組成のある部分、特に小型個体では大きな減耗が生じている可能性があることを示唆している。

天然のヒラメ稚魚では着底直後の餌不足による飢餓やそれに連動した被食によって、高い頻度で減耗が生じる可能性が推定され、¹⁷⁾ その要因としてエビジャコによる捕食¹⁸⁾ や共食いの可能性¹⁹⁾ があげられている。しかし、これらの減耗は着底直後の稚魚を対象としているのに対し、当調査で減耗の可能性が示唆されたのは着底後かなりの時期を経過して大きく成長した稚魚に対するものである。この時期の減耗要因として山下¹⁰⁾ は魚類による捕食を想定してい

るが、実際に天然魚の被食を定量的に検討した報告はなく、その詳細は明らかでない。我国沿岸域で盛んに放流されているヒラメ人工種苗の多くは着底後1~3ヶ月経過したものであることから、それらと同サイズの天然魚の減耗実態を解明することは、より効果的な放流技術を開発する上でも多くの示唆を与えてくれるものと期待される。とりわけ、どのような天然魚がどのような条件下で減耗するのかについて、さらに詳細な生態的知見を得ることが重要となる。

1-2 放流種苗の摂餌状態と餌料条件

研究の背景と目的

ヒラメ人工種苗の放流では、その初期に著しい減耗が生じることが報告されている^{9, 20, 21)} 1989年、1990年および1991年に鳥取県中部砂浜域沿岸に放流したヒラメ人工種苗にも、放流後ごく短期間に放流海域を中心に限られた範囲において大量の減耗が生じたことが推定された²²⁾ このような人工種苗の減耗要因として、近年、被食が重要視されてきている。^{8, 9)} 同時に放流後の飢餓にも、直接的な死亡要因としてだけでなく、捕食されやすさを増大させる可能性が指摘されている。^{10, 15)} そこで、前項(1-1)で扱ったヒラメ人工種苗を対象に、放流後の摂餌状態と放流海域の餌料条件を調査し、飢餓が減耗におよぼす可能性について検討を行った。

材料と方法

前項(1-1)で放流後の分布、成長および個体数変動を報告したヒラメ人工種苗と、同海域に分布していた天然魚を対象に、全長(mm)、体重(胃内容物除去後の湿重量, g)および胃内容物重量(湿重量, g)を測定した。このうち、胃内容物重量は1個体当たりの量がわずかで測定時の誤差が大きいと見做され、採集調査ごとにまとめて測定した。人工種苗はA海区の調査定線において曳網したビームトロール(桁長3m、目合い7mm)に入網した個体のうち、1回の曳網で5個体以上が得られた場合を測定の対象としたが、天然魚では個体による全長差が大きかったため、同時に入網した人工種苗の全長の標準偏差(± σ)の範囲内か、あるいはその平均値から大きく外れない個体に限って測定に供した。なお、採集した人工種苗の識別には、放流時の全ての個体の無眼側に面状に発現していた黒色素胞を用いた。また、1990年に放流した人工種苗については、放流前に一部の個体にアリザリンコンプレクソン(ALC)またはラテックスによる標識を施し、放流日の異なる6群(A~F)の識別を可能とした。

一方、人工種苗の放流を行う前後に、A海区の調査定線のうち、水深3mから13mにおいてソリネット(網口2.0×0.4m、目合い1mm)²³⁾を1定線につき600mから750mずつ、また汀線域(水深0.5m)においては人力(2人曳き)の汀線用曳き網(網口幅2m、目合い1mm)²³⁾を100mずつ3箇所に分けて曳網し、アミ類の分布量を調査した。

なお、採集物はその場で約10%の海水ホルマリンで固定し、持ち帰った後に測定した。このうち、ソリネットと汀線用曳き網の採集物については、全体の湿重量と、その一部を抽出した試料(5g以上)中に占めるアミ類重量の比率から全アミ類入網重量を推定した。

結 果

人工種苗と天然魚の摂餌率 1989年6月22日から8月21日までの間に9回の曳網調査を行い、

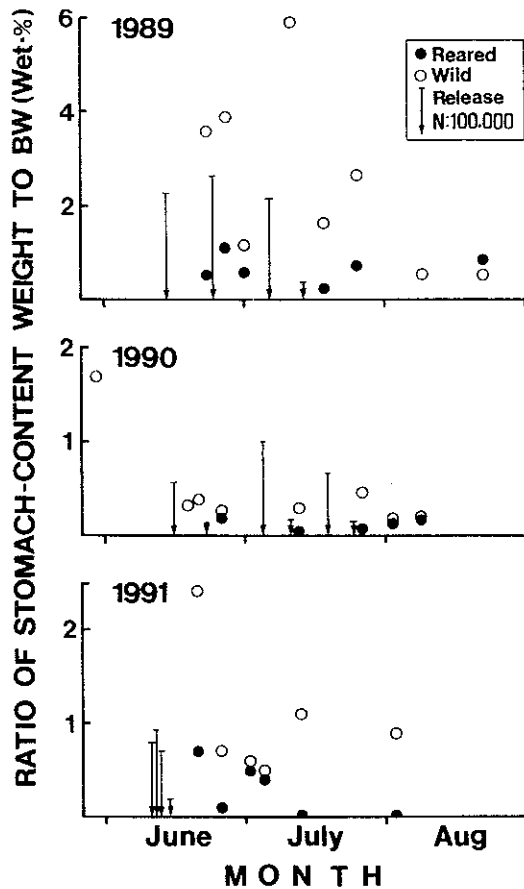


Fig.11. Changes in feeding rate (stomach content wet weight/body wet weight excluding stomach contents) of reared (released) and wild juvenile flounder with progress in season in the study area from 1989 through 1991. Number of fish released is shown by length of the line.

全長 56.4 ± 6.5 mm (平均±標準偏差) から 99.0 ± 12.2 mm の人工種苗 130 個体と、 45.8 ± 11.7 mm から 98.9 ± 14.9 mm の天然魚 615 個体を採集した。このうち、人工種苗107個体と天然魚380 個体について摂餌率(胃内容物重量 $\times 100$ /胃内容物除去体重)を求めた。同様に、1990年5月30日から8月8日までの間に8回の調査を行い、平均全長 48.8 ± 2.6 mmから 89.9 ± 11.8 mmの人工種苗270個体と 15.5 ± 9.0 mmから 86.7 ± 16.3 mmの天然魚2,746個体を採集し、それぞれ269個体と1,751個体について摂餌率を測定した。また、1991年6月20日から8月2日までの間の6回の調査で平均全長 67.5 ± 2.5 mmから 74.7 ± 6.2 mmの人工種苗85個体と 52.1 ± 15.3 mmから 91.5 ± 14.7 mmの天然魚497個体を採集し、それぞれ82個体と445個体の摂餌率を測定した。なお、測定した天然魚は同時に入網した人工種苗と全長に大きな差がないことから、摂餌率の比較は採集調査ごとの全個体の平均値で比較した。

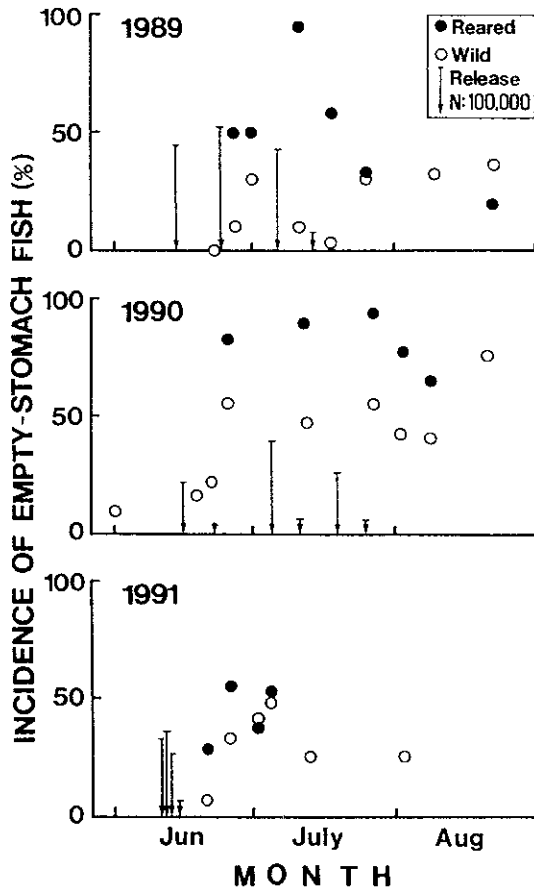


Fig. 12. Changes in incidence of empty-stomach reared and wild flounder with progress in season in the study area from 1989 through 1991.

Number of fish released is shown by length of the line

摂餌率は、1989年の人工種苗では0.02%から1.44%、天然魚では0.55%から4.94%、1990年ではそれぞれ0.02%から0.20%と0.19%から3.12%、1991年ではそれぞれ0.00%から0.70%と0.45%から2.38%の間で変化した(Fig. 11)。人工種苗の値は1989年8月21日の値を除いて同時期の天然魚に比べて低く、常に1%以下で、3年とも同時期の天然魚の平均値との間に5%以下の危険率で有意な差が認められた。また、天然魚では3年ともに6月から7月の間に急減する傾向が認められた。以上の結果から、各年の放流時期の多くは天然魚の摂餌率が低下した後に行われていたことが判明した。なお、個体レベルでの摂餌率の最大値は人工種苗で14.66%、天然魚で17.59%であったが、このような高い値は何れも1989年7月10日から7月17日までの間に集中していた。この間、高い値を示した個体の胃内容物からはカタクチイワシの幼魚が集中的に出現したが、この7日間にカタクチイワシの捕食によって2%を超える摂餌率を示した個体の出現率は人工種苗で18.5%、天然魚で63.9%と、両者には著しい差が認められた。なお、こ

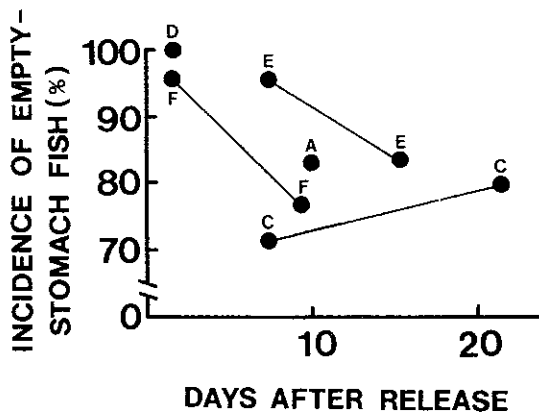


Fig. 13. The relationship between incidence of empty-stomach and days after release (1990).

A,C,D,E and F indicate different groups of released flounder.
Each circle represents the mean value of 5 or more fish

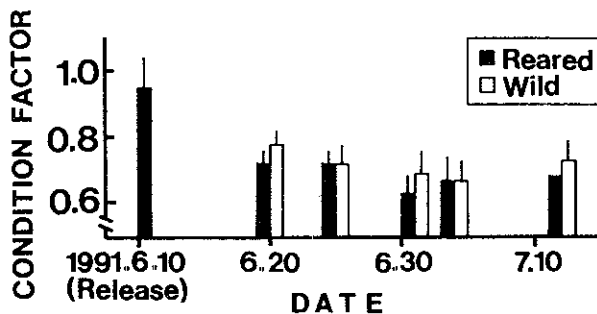


Fig. 14. Changes in condition factor of reared and wild juvenile flounder with progress in season in 1991. Condition factor is calculated by wet body weight (mg) \times 100/TL(mm)³.

Release were carried out from 10th to 14th June

Vertical lines indicate the standard deviation from the mean.

の間を除くと、両者ともに胃内容物のほとんどはアミ類で占められていた

人工種苗と天然魚の空胃個体出現率 空胃個体出現率は 1989年の人工種苗で 20.0%から 95.0%, 天然魚で3.7%から36.8%, 1990年では65.0%から94.3%と9.1%から73.6%, 1991年では28.3%から55.6%と7.6%から49.2%の範囲で変化した(Fig. 12). 人工種苗の空胃個体出現率は1989年8月21日と1991年7月4日の値を除くと天然魚に比べて常に高い値を示し、各年の平均値には1991年を除いて5%以下の危険率で有意な差が認められた。また、1989年と1990年には放流終了以降に人工種苗の値が低下する傾向が認められたが、その最低値はそれぞれ20.0%と65.0%であった。一方、天然魚には各年とも6月下旬から7月上旬の間に値が急増する傾向がみられ、35%から55%に達した。

測定した個体のうち、放流日が判定できる1990年の標識魚146個体を用いて空胃個体出現率と放流後の経過日数との関係をFig. 13に示した。全体として放流1日後の値は7日以降経過し

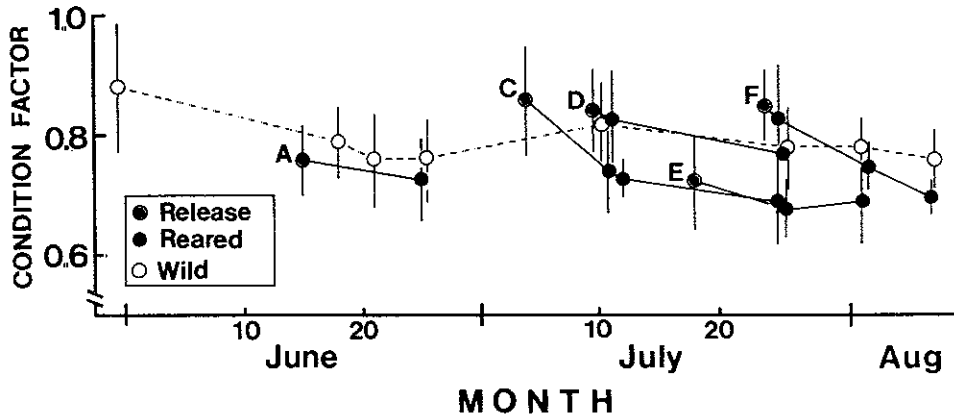


Fig. 15. Changes in condition factor of each released group of reared juvenile flounder and wild juvenile flounder with progress in season in 1990.

た後の値に比べて高く、両者の平均値には5%以下の危険率で有意な差が認められたが、それ以降では顕著な傾向は認められなかった。また、放流群別に見ると、E群は7日後より15日後が、F群は1日後より9日後の値が著しく低く、経過日数とともに値が低下する傾向を示した。

肥満度 放流時期が6月10日から6月14日の5日間に集中した1991年の人工種苗について全体的な肥満度(胃内容物除去体重×100/全長³)の変化を、放流時あるいは同時期に採集した天然魚と比較した(Fig. 14)。放流時に0.95±0.09であった人工種苗の肥満度は、放流開始10日後には0.72±0.09となり、さらに21日後以降では0.63から0.68の範囲に低下し、3者の平均値には全てに5%以下の危険率で有意な差が認められた。一方、6月20日に0.78±0.04であった天然魚の肥満度は6月20日には0.78±0.04だったのが、6月25日には0.72±0.05となり、7月1日および7月4日にはそれぞれ0.69、0.67とさらに低下し、それぞれの平均値の間には5%以下の危険率で有意な差が認められた。

測定した個体のうち、放流日が判定できた1990年の標識魚の肥満度は日平均値で0.68±0.05から0.86±0.09の範囲で変化し、何れの放流群も放流後8日から15日までの間に明かな低下傾向を示し、放流後8日以降に1個体しか再捕できなかったD群を除いて、それぞれの群の放流時の平均値に対して5%以下の危険率で有意な差が認められた(Fig. 15)。これらの人工種苗の肥満度には放流時に各放流群の平均値で0.72から0.84の範囲で差が存在したが、放流時に比較的肥満度の高かったC群とF群でその後の低下傾向がより著しかった。一方、同年の天然魚の肥満度も5月30日の0.88±0.11に比べて6月18日以降の日平均値は0.76から0.82とわずかに低い範囲に推移した。

餌料環境 1989年5月8日から7月14日までの間にソリネットまたは汀線用曳き網を用いた調査をそれぞれ5回または2回行い、各調査定線において湿重量0.00g/m²から1.01g/m²のアミ類を採集した。1990年には4月3日から6月19日までの間に、同様の方法で行った5回、または6回の調査により0.01g/m²から1.93g/m²を、1991年には4月3日から7月12日までの間に5回または3回の調査を行い0.00g/m²から2.75g/m²のアミ類を採集した。

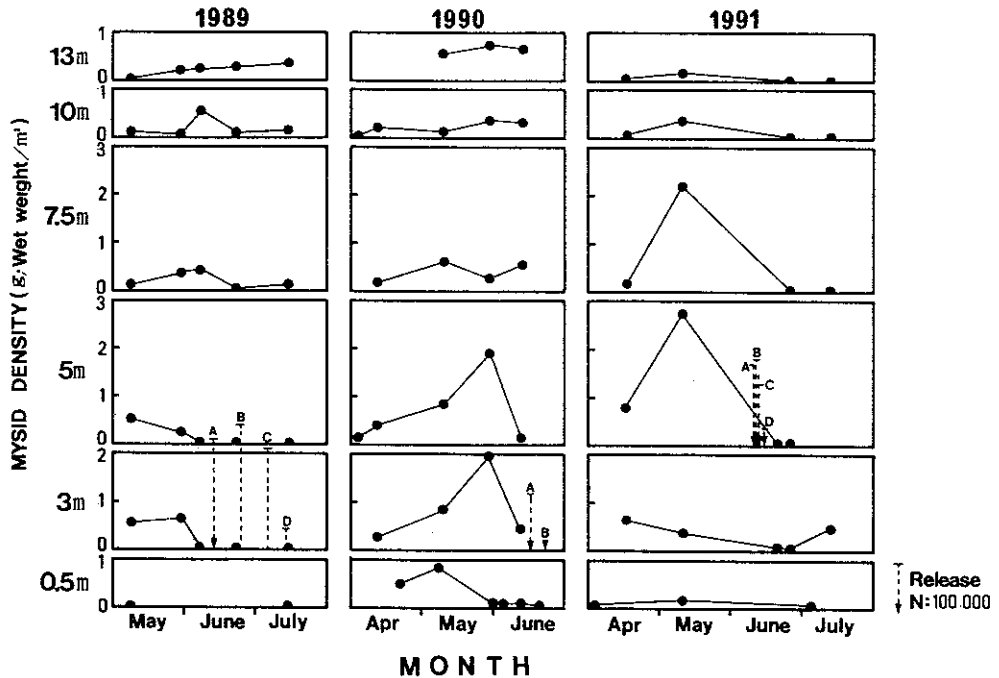


Fig.16. Changes in mysid density (wet weight g/m^3) at each depth in the study area. Release was conducted at the points shown by arrows with dashed lines. Length represent relative number of released fish.

その結果、各年の放流場となった水深3mから7.5mにおけるアミ類の分布密度は1990年と1991年には4月から5月にかけて著しく増加し、6月以降はごく低いレベルに減少した(Fig.16)。1989年にも、同水深帯では6月や7月に比べて5月にはより高い値であったが、他の2年に比べて密度は低いレベルで推移した。一方、より深所(水深10~13m)や汀線域(水深0.5m)では、季節変化はやや不明瞭であったが、5月に最大値が示される場合(1990年と1991年)が多かった。また、同図より各年の放流水深はアミ類の分布量が最も多い位置とほぼ適合しているものの、放流時期の多くはアミ類の分布量が減少した後であったことが明らかになった。

なお、ヒラメ稚魚の計数調査²⁰⁾の際に行った調査域内における潜水観察では、各年とも6月から7月前半には、当海域周縁に分布する岩礁域の縁辺で遊泳性のアミ類とともに天然魚の集中的な分布が見られたが、7月後半になると同海域内でもアミ類のまとまった分布はほとんど見られなくなった。

考 察

摂餌率、空胃個体出現率および肥満度の結果から、人工種苗は放流初期には十分な摂食ができず、飢餓が進行したと推定される。その要因の一つとして、アミ類に対する捕食能力が不十分であることが考えられる。人工種苗は同海域に分布する同等サイズの天然魚に比べて摂餌率

は低く (Fig. 11), 空胃個体出現率が高い (Fig. 12) こと, また, 魚類 (カタクチイワシ幼魚) が集中的に捕食された1989年7月中旬では人工種苗の摂餌状態が著しく悪いことなどから, 摂餌対象となるアミ類と魚類の両方に対して人工種苗の捕食能力は劣っていると考えられる。

一方, 本研究で扱われたサイズの人工種苗では, 放流後10日程度の完全な絶食による飢餓は直接の死亡要因にはなりにくいことが知られている。^{13 14)} それにもかかわらず, 1989年から1991年の3年間に放流したこれらの人工種苗は, 放流後1週間程度の中に急激に減耗した。²²⁾ このことから, これら放流後の人工種苗の直接的な減耗の原因は飢餓ではなく被食である可能性が高いと推察される。仔魚では飢餓が捕食される確率を高めることが実験的に証明されつつあり,^{24 25)} 稚魚においても同様なことが指摘されている。^{10 15)} さらに, ヒラメ稚魚においては, 短期間 (5日以内) の完全な絶食が肥満度とともに摂食行動の俊敏性を著しく低下させることが実験的に明かにされている。²⁶⁾ これらの事実は, 放流初期の人工種苗の被食減耗は, 放流後の飢餓の進行に伴う人工種苗の対捕食者行動の鈍化により, さらに加速されたことを示唆している。

放流魚で認められた摂餌率等の変化は, 同海域に分布する天然魚でもみられ, 6月以降には摂餌率の低下と空胃個体出現率の増加, さらには肥満度が低下して飢餓が進行している様子が見えてきた。その要因の一つとして, 限られた海域への人工種苗の過剰な添加による餌料不足が考えられる。しかし, 同海域における人工種苗の現存量は何れの年でも放流初期に急激に減少したこと,²²⁾ また, 残存した人工種苗の摂餌率はごく低かったこと, さらに, 放流開始前に既に同海域のアミ類分布量は低下傾向を示している場合が多かったことから, 人工種苗が大量にアミ類を捕食したことが海域内の餌料環境を著しく悪化させたとは考えにくい。一方, アミ類分布量の季節的な変動は, 天然魚の摂餌状態や肥満度の季節的な変化とよく合致する。つまり, 天然魚の飢餓は人工種苗の放流によって引き起こされるより, むしろ季節的な餌料条件の変化に基づくと考えられる。天然魚のこのような飢餓の進行が人工種苗と同様に, 被食圧を高める方向に作用するとすれば, 天然魚においても季節の進行とともに大量の減耗が生じている可能性も推定される。

ヒラメ人工種苗では放流後に比較的短期間の順応期間を経た後, 摂餌率が次第に向上することが報告されている。^{13 27)} 当調査においても, 放流7日後には空胃個体出現率が低下する傾向が示された。したがって, もともと放流海域の餌料条件が良好であれば, 人工種苗の飢餓の進行も軽減された可能性がある。つまり, 人工種苗の飢餓には, 特に放流初期に示される摂餌能力の不十分さとともに, 天然魚と同様に, 基本的には季節的な餌料条件の悪化が深く関与している可能性が大きい。餌料条件の悪化に起因するこのような飢餓が人工種苗の大量減耗につながっているとすれば, 放流時はもとより, 人工種苗に魚食性が高まって沖合いに移動できる成長段階まで, 言い換えれば人工種苗がアミ類を必要とする期間に, 十分な餌料 (アミ類) を確保できる放流時期とサイズの設定が極めて重要となる。当海域では放流を行った6月から7月に比べて5月にはアミ類の分布量が極めて多く, また, アミ類の捕食者の主体となるヒラメ天然魚の分布量もまだ少なく,⁹⁾ その成長段階も低いことから, このような時期に早期放流を試みる価値は大きいと考えられる。

1-3 放流種苗の被食

研究の背景と目的

1989年から1991年にかけて鳥取県中部の砂浜浅海域に放流されたヒラメ人工種苗の現存量は、何れの年にも短期間(10日間以内)で激減したことが裏付けられた。²²⁾ その主要因は、周辺海域も含めた追跡調査の結果より、調査海域からの逸散ではなく、放流海域における減耗であると考えられる。²²⁾ さらに、再捕した人工種苗の摂餌率と肥満度の調査結果から、これら人工種苗では放流後短期間(10日以内)に飢餓が進行していたことが推定された。²⁸⁾ しかし、放流されたヒラメ人工種苗のサイズから、このような短期間の飢餓は放流後の急激な減耗の直接の原因ではないと考えられる。

他の海域における調査結果より、放流したヒラメ人工種苗の主要な減耗要因として、魚類による被食が重要視されており、⁸⁾ 当海域においても、これまでに魚類による人工種苗の被食があることが確認されている。^{9, 29)} しかし、これまで、ヒラメ人工種苗の被食を定量的に扱った研究はなく、その減耗に及ぼす影響の詳細は不明のままであった。そこで、前二項(1-1, 1-2)で扱ったヒラメ放流群を対象に、魚類による捕食を定量的に把握するための調査を行い、潜水計数調査によって得られた同海域における減耗量(現存量の減少量)²²⁾ と対比して被食減耗に考察を加えた

材料と方法

1989年、1990年および1991年にヒラメ人工種苗の放流を行った鳥取県中部の砂浜浅海域において、ヒラメ人工種苗を捕食している可能性のある魚類(以下「捕食魚」と記す)を採集し、胃内容を調査した。放流は1989年には6月13日から7月13日までの31日間に平均全長 55.3 ± 6.0 mmから 77.5 ± 9.1 mmの人工種苗746,000個体を4回に分けて、1990年には6月15日から7月24日までの40日間に平均全長 41.6 ± 6.7 mmから 92.9 ± 9.3 mmの人工種苗528,000個体を6回に分けて、1991年には6月10日から6月14日までの5日間に平均全長 60.2 ± 3.5 mmから 63.1 ± 5.3 mmの人工種苗520,000個体を4回に分けて行った。放流の詳細な内容については1章-1に記載したとおりである。

捕食魚の採集は、1989年には人工種苗の放流を開始した翌日から放流を終了した7日後までの37日間に11回、1990年には放流開始37日前から放流を終了した7日後までの77日間に13回、1991年には放流開始翌日から放流を終了した翌日までの3日間に2回行った。採集にはスキューバ潜水による手鉈と、刺網(ナイロン製モフィラメント2号、目合い8.25cm)を用いた。手鉈による採集は9時から16時までの昼間に行い、刺網は夕刻に設置したものを翌日の午前中に回収した。採集した捕食魚は全長を測定した後に胃内容物を取り出し、これを約10%の海水ホルマリン液で固定した。その後、胃内容物のうち、形状の明瞭な魚類について種の判定と個体数の計数を行っ

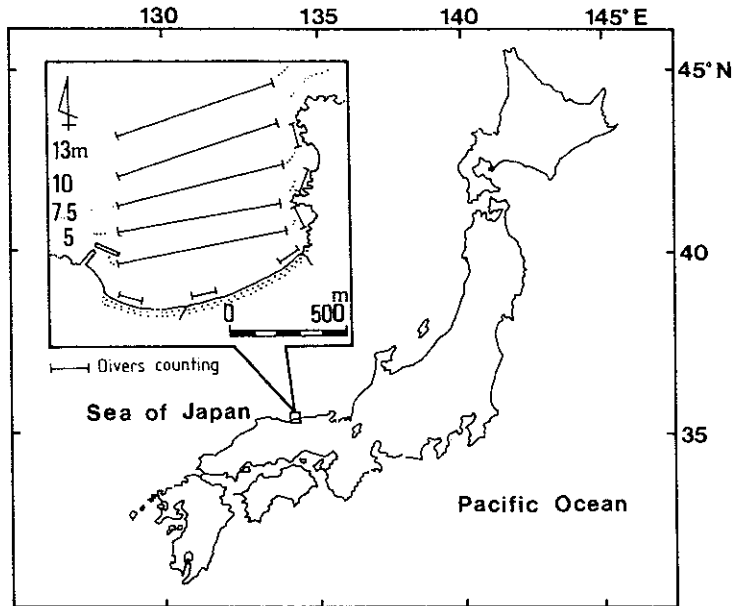


Fig. 17. Location of the surveyed area and transect lines by scuba divers counting for the predatory fishes.

た。この調査結果に、同海域で同様の調査を行った1987年と1988年の結果^{23, 29)}を併せて、放流後の経過日数と被食量との関係を、主要な捕食魚であるヒラメ(未成魚)とマゴチを対象に推定した。なお、捕食魚の胃から出現したヒラメのうち、人工種苗は、放流時の全ての個体に発現していた無眼側の黒色素によって天然魚と識別した。

一方、同海域において、ヒラメ未成魚とマゴチの現存量を推定するための潜水計数調査を放流時期を中心とした1989年6月7日から7月25日までの49日間に8回、1990年5月26日から7月25日までの61日間に14回、1991年4月24日から8月2日までの101日間に9回行った。調査は岩礁域縁辺と汀線域、または水深13m以浅の等深線に沿って設定した100mから750mの定線(Fig. 17)に沿った幅1m、または3mの海底を潜水計数器(Fig. 18)²²⁾を用いて掃海する方法で行った。調査海域を潜水計数調査定線に基づいて区分し(Fig. 19)、各定線ごとに得た分布密度をもとに、区画法(層別抽出)³⁾を用いて両魚種の現存量を推定した。

結 果

ヒラメ人工種苗の被食 3年間の調査で11種253個体の捕食魚を採集し、胃内容物を調査した。この内、ヒラメ、マゴチ、スズキの胃内からヒラメ小型魚が出現した(Tables 3~5)。ヒラメは167個体中57個体(34.1%)が、マゴチは68個体中40個体(58.8%)が、スズキは8個体中6個体(75.0%)がヒラメ小型魚を捕食していた。捕食魚の全長はヒラメが19cmから39cm、マゴチが30

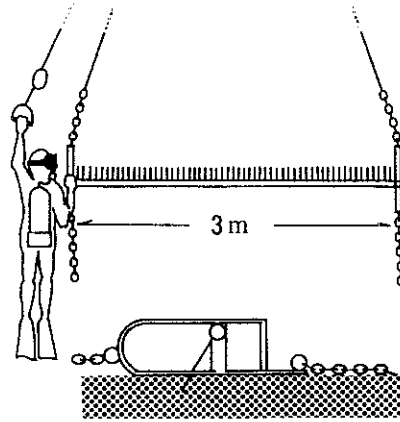


Fig. 18. Schematic illustration for the method of divers direct counting for predatory fishes, showing over-view (upper) and side-view (lower) of the equipment

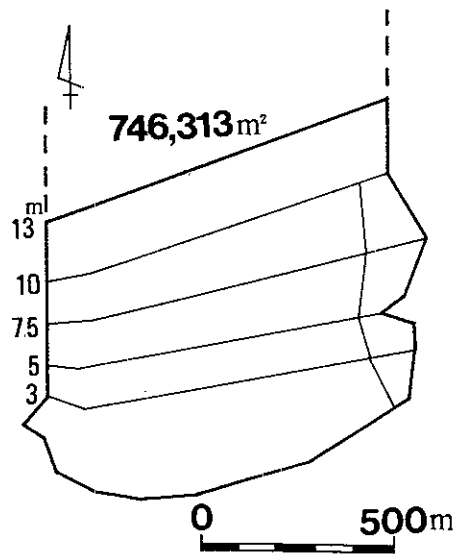


Fig. 19. Stratified counting areas by quadrat method for estimating abundance of predators.

cmから56cm, スズキが33cmから41cmであった。採集時期とサイズから、これら捕食魚の年齢は、ヒラメでは1歳から2歳、³⁰⁾ マゴチでは1歳から5歳以上、³¹⁾ スズキでは2歳から3歳³²⁾ と推定された。捕食魚の胃内容物から出現したヒラメ小型魚の全個体数は、ヒラメでは209個体、マゴチでは269個体、スズキでは58個体であった。捕食されたヒラメ小型魚のほとんど(99.3%)は人工種苗、または識別不明の個体であったが、天然魚の被食もわずかに(0.7%)確認された。捕食魚1個体当たりのヒラメ小型魚の被食個体数は、ヒラメでは13個体以下(平均4.4個体)、マ

ゴチでは56個体以下(平均6.7個体), スズキでは7-27個体(平均 9.7個体)であった。なお、この3種の胃内からは、ヒラメの他に、アミ類、エビ類、イカ類、イカナゴ、マアジ、マダイ、およびササウシノシタが出現したが、その個体数はヒラメ人工種苗に比べてごくわずかであった。つまり、この間、ヒラメ人工種苗が集中的にこれら3種の餌となっていたことが明らかになった。

この海域で1987年から1991年に行われたヒラメ人工種苗の放流のうち、1回に10万個体以上の放流が行われた事例について、放流後の経過日数と捕食者1個体当たりのヒラメ小型魚の平均被食数との関係をヒラメとマゴチについて調べた(Fig. 20)。この図より、ヒラメ人工種苗は両魚種によって放流初期ほど多く捕食されていることがわかる。なお、これらの値から、被食個体数の平均値(P)と放流後の経過日数(d:放流日を1とする)の関係は次のように表せる。

$$\text{ヒラメ } P = 12.55 d^{-1.57} \quad (r = -0.77)$$

$$\text{マゴチ } P = 58.15 d^{-1.73} \quad (r = -0.79)$$

Table 3. Piscivorous fishes preyed on released flounder juveniles and incidence of predation in A zone (1989).

Date	Days after release (Group:Days)	Species of predator	Size of predator (X±SDcm)	No. of stomachs examined	No. of stomachs with flounder	Incidence of predation (%)	Total No. of flounder in stomachs	Mean No. of flounder in a stomach
13 June	A:0	Pa*	20.0	1	1	100.0	10	10.0
14 June	A:1	Pa	21.6±2.1	7	5	71.4	15	2.1
17 June	A:4	Pl**	40.1±7.7	2	2	100.0	29	14.5
24 June	B:1	Pa	21.5±2.3	2	2	100.0	15	7.5
27 June	B:4	Pa	25.5±7.6	15	8	53.3	15	1.0
		Pl	45.1±3.3	5	3	60.0	14	2.8
6 July	C:1	Pa	29.0	1	1	100.0	13	13.0
7 July	C:2	Pa	21.5±3.1	8	4	50.0	8	1.0
		Pl	43.4±5.7	8	7	87.5	98	12.3
11 July	C:6	Pl	60.0	1	0	0.0	0	0.0
14 July	C:9	Pa	26.4±2.2	6	1	16.7	1	0.2
		Pl	40.8±3.5	8	2	25.0	4	0.5
15 July	C:10	Pa	28.5±5.7	8	2	25.0	8	1.0
		Pl	39.9±4.1	11	8	72.7	33	3.0
20 July	C:15	Pa	26.8±2.1	35	3	8.6	4	0.1
		Pl	45.1±5.3	3	2	66.7	2	0.7

Paralichthys olivaceus* *Platycephalus indicus*

Table 4. Piscivorous fishes preyed on released flounder juveniles and incidence of predation in A zone (1990).

Date	Days after release (Group:Days)	Species of predator	Size of predator ($X \pm S_{Dcm}$)	No of stomachs examined	No of stomachs with flounder	Incidence of predation (%)	Total No of flounder in stomachs	Mean No of flounder in a stomach
9 May	(before)	Pa*	19.4 ± 3.8	15	0	0.0	0	0.0
28 May	(before)	Pa	20.5	1	0	0.0	0	0.0
21 June	A:6	Pa	23.7	1	1	100.0	(2)	2.0
25 June	A:9	Pa	23.4 ± 1.1	5	1	20.0	1(1)	0.4
5 July	C:1	Pa	27.4 ± 2.3	9	5	55.6	38(1)	4.3
7 July	C:3	Pa	27.1 ± 3.2	8	5	62.5	20	2.5
		Pl**	51.5	1	1	100.0	9	9.0
9 July	C:5	Pa	23.3 ± 8.6	3	1	33.3	1	0.3
11 July	C:7	Pa	29.0	1	0	0.0	0	0.0
17 July	C:13	Pa	29.6 ± 9.3	5	0	0.0	0	0.0
		Pl	36.7 ± 2.8	3	0	0.0	0	0.0
19 July	E:1	Pa	29.1 ± 2.8	6	5	83.3	22	3.7
21 July	E:3	Pa	25.4 ± 4.4	2	1	50.0	3	1.5
24 July	E:6	Pa	27.8 ± 7.0	6	1	16.7	1	0.2
		Pl	43.3 ± 12.9	2	1	50.0	1	0.5
25 July	E:7	Pa	19.2 ± 3.8	7	1	14.3	1	0.1

Paralichthys olivaceus* *Platycephalus indicus*

Table 5. Piscivorous fishes preyed on released flounder juveniles and incidence of predation in A zone (1991).

Date	Days after release (Group:Days)	Species of predator	Size of predator ($X \pm S_{Dcm}$)	No of stomachs examined	No of stomachs with flounder	Incidence of predation (%)	Total No of flounder in stomachs	Mean No of flounder in a stomach
13 June	C:1	Pa*	27.0 ± 3.9	7	7	100.0	27	3.9
		Pl**	41.8 ± 5.7	16	11	68.8	72	4.5
		La***	37.5 ± 3.8	8	6	75.0	58	7.3
15 June	C:3	Pa	27.5 ± 4.3	8	2	25.0	2	0.3
		Pl	41.8 ± 5.3	8	3	37.5	7	0.9

Paralichthys olivaceus* *Platycephalus indicus* ****Lateolabrax japonicus*

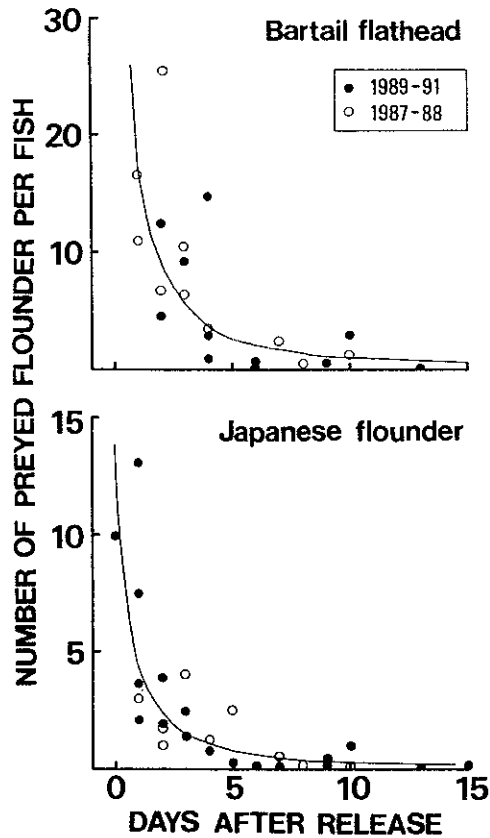


Fig. 20. Predation on released flounder juveniles by piscivorous fishes, 1 or 2 year-group of flounder and bartail flathead, and its time-course change after release. Open and closed circles indicate data obtained in 1987 and 1988, and 1989 through 1991, respectively.

捕食魚の分布 各調査定線におけるヒラメ(1-2才魚)の分布は、各年ともに比較的均一な状態から、6月中旬以降には浅海域の岩礁域周辺に集中した状態へ変化する傾向が観察された。一方、マゴチの分布は調査期間を通して比較的均一であったが、岩礁域周辺には少ない傾向が認められた。

各調査定線の分布密度をもとに推定した海域内におけるヒラメ(1-2才魚)の現存量は、1989年には966~4,120(平均2,568)個体、1990年には415~2,464(平均1,349)個体、1991年には425~2,082(平均1,319)個体となった。同様にマゴチでは、1989年には0~451(平均124)個体、1990年には0~1,169(平均341)個体、1991年には0~399(平均124)個体であった。これらの値の季節的变化から、当調査海域におけるヒラメ(1-2才魚)の現存量は6月上旬から中旬に急増する傾向があり、各年の放流は、これら捕食魚が増加した後に行われたことがわかる(Fig. 21)。

被食量の推定 当調査海域では、1989年と1990年にはヒラメ人工種苗の複数回の放流が比較的時間隔をあけて行われた。そこで、両年に行った捕食魚の分布調査のうち、放流時期にあたる

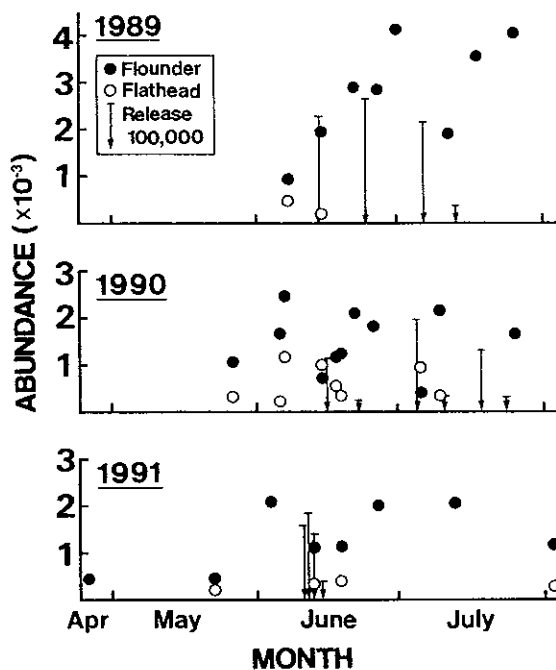


Fig.21. Seasonal changes in abundance of predators, 1 and 2-year class flounder and bartail flathead in the experimental area (1989 through 1991). Arrow mark shows the day of release and the length of bar corresponds to number of released juveniles.

6月から7月の当海域における、捕食魚の平均現存量を求めると、ヒラメ(1-2歳魚)では2,066個体、マゴチは210個体となる。これら、当海域における両魚種の平均現存量と前述の放流後の経過日数と平均被食個体数の関係式から、当海域における両魚種による放流後のヒラメ人工種苗の捕食個体数を計算すると、放流後10日間で71,767(ヒラメ:50,186, マゴチ:21,581)個体と推定され、ヒラメ人工種苗は放流初期に両魚種により大量に捕食されていたことが示唆された。しかし、この推定値は、当海域で同じ放流群を対象に行った潜水計数調査¹⁾によって得られた人工種苗の減耗量に比べるとはるかに小さい値であった(Fig. 22)。

考 察

被食量推定値の評価 当調査において放流初期のヒラメ人工種苗はヒラメとマゴチにより大量に捕食されていたことが確認されたが、その被食数の推定値は潜水計数調査で得られた減耗数の推定値²⁰⁾に比べて、20万個体を放流した場合、放流後10日間で36.3%でしかなかった両魚種の摂餌活動は基本的には昼間に行われ、例えば、ヒラメでは魚類を捕食する場合の摂餌時刻は日の出から日没までとされ、^{33 34)}また、昼行性の魚類においては日の出時や日没時に摂

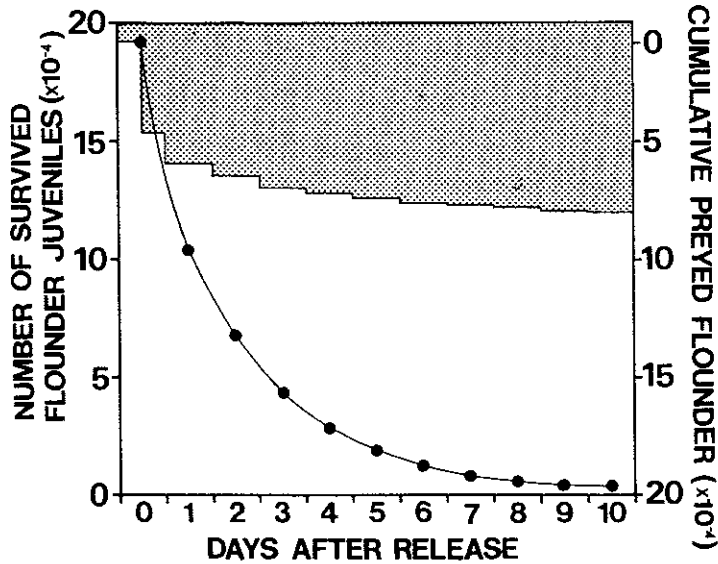


Fig. 22. Changes of estimated number of survived flounder and number of preyed flounder by piscivorous fishes in the experimental area

- : Cumulative preyed flounder by piscivorous fishes.
- : Number of survived juveniles estimated by divers direct counting (mean survival curve calculated from 6 releases in 1989 and 1990 shown in the previous paper²²⁾).

餌活動が高まることが多い。さらに、捕食後の胃内容物の消化と排泄は時間の経過とともに進む。ところが、当調査における捕食魚の採集は、刺網の場合には夕刻から翌朝までの間を対象に、また、潜水の場合には日中のみ行われた。したがって、両魚種による正確な捕食量の推定には、捕食者が採集された時刻から日没までの間の捕食量や、捕食してから採集時刻までの間の胃外への排出量、あるいは前日に捕食した餌料の胃内残留量などを考慮する必要がある。

梨田ら³³⁾は、ヒラメ 1 歳魚の日間摂餌量を海水温 15℃で体重の 4.66%、22.5℃で 3.19%と推定している。ちなみに、当調査では放流海域における海水温は、その中間の 20℃前後と考えられることから、この値を 3.2~4.7%と仮定して、胃内容調査を行ったヒラメ(平均全長 25.9cm, 平均体重 208g)について日間摂餌量を計算すると 6.7~9.8g となる。当調査の結果、捕食ヒラメの胃内容のほとんどがヒラメ人工種苗で占められていたことから、これを放流した人工種苗の平均体重(2.1g)に換算すると、日間捕食個体数は 3.2~4.7 個体となる。ところが、当調査で放流 10 日後までに採捕したヒラメ(1-2 歳魚)の胃内から出現した人工種苗の日平均個体数は 2.2 個体でしかなかった。つまり、実際の被食量は当調査の推定値の 1.5 倍から 2.1 倍程度であった可能性が推定される。一方、マゴチの日間摂餌量は不明であるが、この比率がヒラメと大きく変わらないとすれば、両種によって放流 10 日後までに捕食されたヒラメ人工種苗は、10 万個体を上回り、実際には減耗要因の主体となっていた可能性が高いと考

えられる。

人工種苗の被食要因 調査海域におけるヒラメ人工種苗の現存量は放流直後の短期間を除いて同海域に分布する天然魚のそれを下回っていた。²²⁾ また、両者のサイズはほぼ同じであるが、時期によっては天然魚にはより小型の個体が多く含まれていた。²²⁾ それにもかかわらず、捕食魚の胃内から出現した天然魚の個体数は全体のわずかに0.7%にすぎなかった。人工種苗と天然魚との間には被食されやすさ、あるいは被食回避能力において著しい差が存在することになる。ヒラメ稚魚の被食に関わる機能として、これまでに逃避能力、³⁵⁾ 潜砂能力、³⁶⁾ 体色²⁰⁾ および摂食行動¹¹⁾ ³⁶⁾ があげられ、人工種苗と天然魚の間に明確な差があることが指摘されている。当調査で確認された捕食魚のうち、スズキについては、その捕食行動の形態から、前三者の能力が関わることが予測される。しかし、分布量の多さから、より重要な捕食魚と考えられるヒラメとマゴチについては、海底に定座した待ち伏せ型の捕食行動が基本となるため、ヒラメ稚魚が海底を離れる摂食行動が被食要因により深く関わるのが想定される。

ヒラメ稚魚の摂食行動は、短期間(7日以内)の絶食によって俊敏性が著しく低下し、捕食されやすくなると考えられている。²⁶⁾ 一方、本研究において、人工種苗の多くが放流後短期間に飢餓におちいつていることが明かになった。²⁸⁾ つまり、放流後の飢餓状態が人工種苗の摂食行動の俊敏性を低下させ、そのために待ち伏せ型の捕食魚による被食が増大した可能性が推定される。海産仔魚の飢餓が被食の確率を高めることは実験的にも証明されつつあるが²⁴⁾ ²⁵⁾ ヒラメ人工種苗では稚魚期においても被食に対する飢餓の影響が大きいと考えられる。

人工種苗の減耗要因 放流したヒラメ人工種苗の減耗要因として飢餓と被食が重要視されているが、³⁵⁾ その主体は被食にあると考えられている。⁸⁾ ⁹⁾ 当調査においても、ヒラメとマゴチによる放流後短期間の被食が減耗要因の主体となっていることが推定された。しかし、その被食量の推定値に比べ、実際の現存量調査によって推定された減耗量は、より大きい²²⁾ ことから、両種による被食以外にも大量に人工種苗の減耗を引き起こす要因が残されている可能性も高い。特に、夜行性の捕食者による被食が未解明のまま残されている。

ヒラメ人工種苗は夜間にも著しい被食を受ける可能性が示され、³⁷⁾ これが減耗過程を把握する上での盲点となっていることが指摘されている。¹⁵⁾ 当調査海域にも砂浜性の中型カニ類(ヒラツメガニ、キンセンガニ)やマアナゴ、ミナミホタテウミヘビ、ダイナンウミヘビなどの夜行性の捕食者が多く分布することが確認されている。その中でも、ヒラツメガニは単一種で漁業の対象になるだけの分布量が存在する。さらに、放流海域で採捕されたヒラツメガニの胃内からヒラメ人工種苗の骨格や耳石が検出されている(古田, 未発表)。人工種苗の減耗要因の全容を把握し、対応策を検討するためには、これらの捕食者による夜間の被食にも目を向ける必要がある。

第2章 人工種苗と天然魚の摂食行動の比較

研究の背景と目的

1989年から1991年の3年間に鳥取県中部の沿岸砂浜域に大量に放流されたヒラメ人工種苗はいずれの年にも放流後短期間(10日以内)に著しく減耗し、その主要因は昼行性魚類(ヒラメ未成魚、マゴチ)による被食と推定された。^{22, 38)} ところが、捕食魚の胃内容物調査の結果、同じ海域に放流稚魚と同様な密度で分布する天然稚魚には被食個体が極めて少ないことから、両者にはこれらの捕食魚による捕食され易さ、あるいは被食を回避する能力において著しい差が存在するのではないかと考えられた。³⁸⁾ ヒラメ人工種苗の被食に係わる機能として、これまでに逃避能力、³⁵⁾ 潜砂能力、³⁶⁾ 体色²⁰⁾ および摂食時の離底時間¹⁾ があげられ、天然魚との間に明瞭な差があることが指摘されている。このうち、ヒラメ未成魚やマゴチなどの海底に定座する待ち伏せ型の捕食行動を基本とする捕食魚の場合、ヒラメ稚魚が海底を離れ水中に浮上する摂食行動が被食の契機になることが想定される。¹⁾ ³⁸⁾ そこで、ヒラメ人工種苗と天然稚魚の摂食行動を実験的に比較し、放流海域で人工種苗が選択的に被食を受ける原因を考察した。

材料と方法

1990年に鳥取県栽培業センターで種苗生産されたヒラメ人工種苗(飼育水槽：コンクリート製50m³、飼育密度：1,461個体/m²)と同センター地先の浅海砂浜域で採集された天然稚魚(Table 6)が遊泳性のアミ類に対して示す摂食行動を実験的に観察した。観察には底面に細砂を敷いた透明なアクリル水槽(60×30×35cm、換水率約400%/時)を使った実験装置を用いた(Fig. 23)。この水槽に種苗生産水槽から無作為に抽出したヒラメ人工種苗(平均全長±標準偏差：66.2±4.6mm)と採集後1時間以内の天然稚魚(60.7±4.3mm)をそれぞれ10個体ずつ収容し、一昼夜無給餌で静置した後、生きているアミ類(*Neomysis japonica*が主体)を約200個体投与し、これによって誘発された摂食行動を水槽の側面に設置したビデオカメラで10分間撮影した。撮影時刻は、ヒラメ稚魚の摂餌日周期性^{33, 34)}を配慮して夕刻(16時~19時)とした。その後、この映像を1/5速で再生し、一連の摂食行動から、捕食のために魚体が底面を離れている時間(離底時間)、底面を離れてから着底するまでの遊泳経路(遊泳コース)、底面を離れた位置から着底した位置までの距離(離着底間隔)および底面から遊泳コースの最高所までの距離(遊泳高度)を測定した(Fig. 24)。なお、摂食行動のうち、遊泳コースが水槽の側壁に接した場合には行動が阻害されたと考え、測定対象から除外した。遊泳コースは、解析のためにA~Cの3型に分類し(Fig. 25)、それぞれ反転傾向の強い順に3~1点の成績を与えた。各行動要素の測定値を天然稚魚と人工種苗とで比較するため、まず両者の分散比を解析するためのF検定を行い、分散に有意な差がある場合にはWelchの方法³⁹⁾により平均値の差を検定した。ただし、離底時間の組成はJ型に近い非対象分布を示したため(Fig. 26)、測定値を対数変換し、正規分布に近似して

Table 6. Experimental animals to compare feeding behavior between wild and reared flounder juveniles.

Fish sources	Wild	Reared*
Fish size(mm TL)	60.7±4.3	66.2±4.6
Number of fish	10	10

*reared at a density of 1,461/m² in the mass-production tank before the experiment

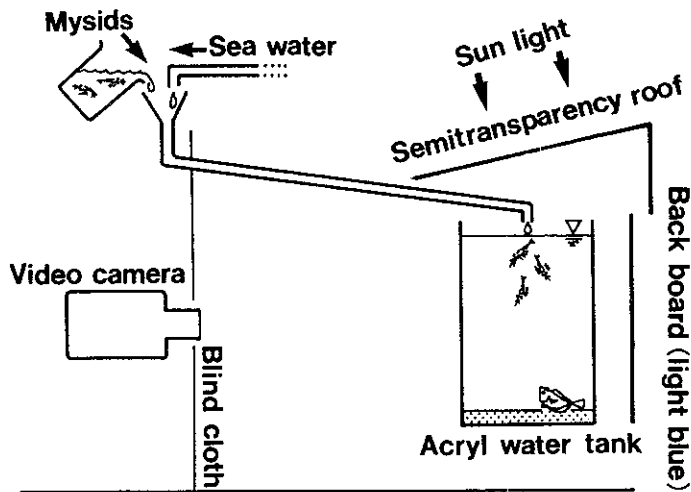


Fig. 23. Experimental apparatus for observation of feeding behavior of flounder juveniles

から検定を行った。

摂食行動を測定する前に、前述の実験装置と同等サイズのヒラメ人工稚魚を用いて予備実験を行った。予備実験では、①アミ類投与直前、または投与後に水槽を軽く叩いて振動を加える、②投与するアミ類に汀線域に分布するアミ類(*Archaeomysis vulgaris*)⁴⁰⁾を用いる、③遊泳するヒラメ稚魚の映像を鮮明にする目的で実験水槽の背面と両側面に白いビニールシートを張り付ける、など実験結果に影響を与えると予測される要素について検討を加えた。

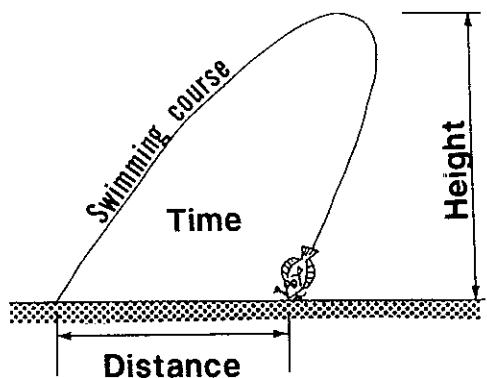


Fig. 24. Components measured in the analysis of feeding behavior of flounder juveniles.

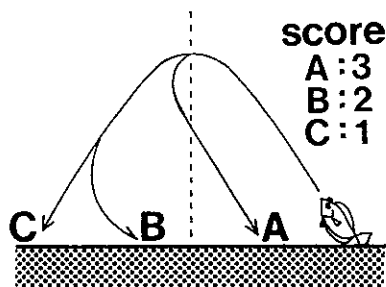


Fig. 25. Types of swimming courses observed during feeding by flounder juveniles. Types A, B and C were scored 3, 2 and 1 points, respectively

結 果

予備実験 予備実験において、①の水槽では、ヒラメ稚魚のほとんどが水槽に刺激を与えると直ちに潜砂行動を示し、アミ類投与後も摂食行動を示す個体は極端に少なかった。また、観察者が水槽前面(約1m以内)に近づいた場合にも、稚魚は①と同様の反応を示した。②の水槽では、ほとんどのアミ類が投与直後に着底し、ヒラメ稚魚は遊泳を伴う摂食行動をほとんど示さなかっただけでなく、摂食そのものも著しく少なかった。③の水槽では、アミ類の多くが白色の壁面に付着したためヒラメ稚魚の摂食行動が水槽壁面の影響を受ける場合が多かった。一方、水色の板を水槽壁面から5cmから10 cm離して設置した実験水槽では、アミ類の多くは壁面に付着することなく水中を遊泳し、これを摂食するヒラメ稚魚の遊泳コースは前者に比べて水槽壁面の影響を受けにくかった。以上の予備実験の結果にもとづき、以下の実験では観察中のヒラメに人為的な刺激が極力少なく、活発な摂食行動が示されるよう考慮した実験設定とした。

摂食行動の目視観察 実験開始前にはほとんどの個体が潜砂していたが、アミ類を投与した直後から盛んに摂食行動を示し始めた。その反応は人工種苗で早く、天然魚ではやや遅かった。1回の摂食行動は、①特定のアミ個体の視認、②ねらい、③浮上追跡、④捕食、⑤反転、⑥潜降、⑦着底、⑧潜砂の一連の行動に分けられたが、捕食対象のアミの遊泳高度がごく低い場合や他個体の影響により③④⑤が省かれたり、そうでない場合でも⑤⑧の行動を示さない個体も観察された。1回の摂食行動で示される④は、多くは1回であったが、2回以上の連続的な捕食を行う個体も観察された。このような行動要素の欠落や連続的な捕食行動は天然稚魚に比べて人工種苗に多く観察された。水槽内のアミ類の多くは実験開始直後には底面近くに分布し、次第により高い位置を遊泳するようになったが、10分後には水槽内にはほとんど見られなくなった。

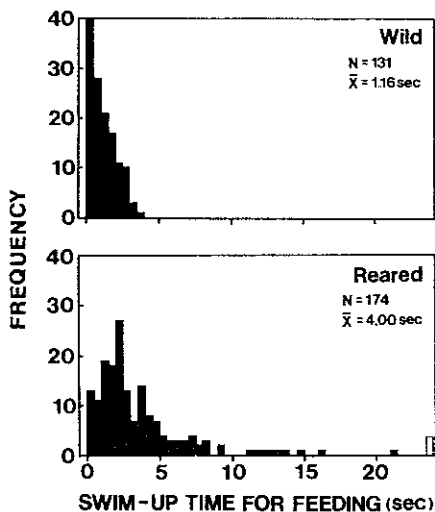


Fig. 26. Comparison of time of swimming up in water column for feeding of wild and hatchery-reared juvenile flounder in laboratory experiments. Open bar indicates the frequency of swimming times of over 24 seconds.

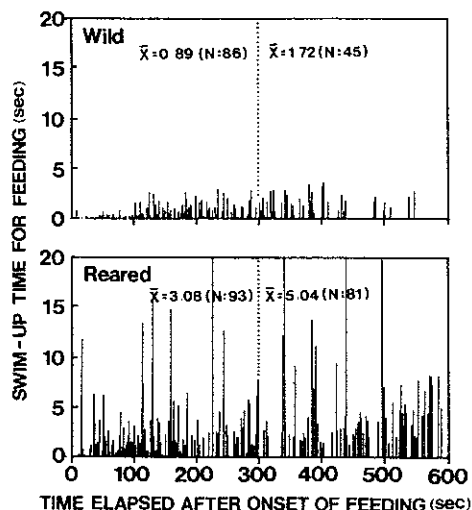


Fig. 27. Comparison of swim-up time for feeding between wild and hatchery-reared flounders. Values in the figures indicate average seconds of swimming for each half of the experimental period.

離底時間 測定対象となる摂食行動は天然稚魚で131回、人工種苗で174回観察された。これらの離底時間の平均値は前者で1.16秒、後者で4.00秒と、天然稚魚に比べて人工種苗で長く、それぞれの平均値には有意差が認められた(t -test, $p < 0.05$) (Fig. 26)。天然稚魚の離底時間には4.0秒を上回る行動は示されなかったのに対し、人工種苗では測定対象となった摂食行動の29.9%が4.0秒を上回り、両者の離底時間の組成は著しく異なった。10分間の測定で得られた離底時間のうち、前半の5分間と後半の5分間の平均値(行動回数)はそれぞれ天然稚魚で0.89秒(86回)と1.72秒(45回)、人工種苗で3.08秒(93回)と5.04秒(81回)と、前半に比べて後半に長くなる傾向が両者ともに示され、前半と後半の平均値にはどちらにも有意差が認められた(t -test, $p < 0.05$) (Fig. 27)。

遊泳コース 遊泳コースの類型のうち、天然魚ではA, B, Cがほぼ同等に認められたのに対し、人工種苗ではAが極めて少なく、Cが多かった(Fig. 28)。これらの反転成績の平均値と標準偏差は天然稚魚で 2.05 ± 0.84 、人工種苗で 1.41 ± 0.69 であり、両者には有意差が認められた(t -test, $p < 0.05$)。10分間の観察で得られた反転成績の測定値のうち、前半と後半の平均値には有意差は認められなかった。

離着底間隔 天然稚魚と人工種苗の離着底間隔の平均値と標準偏差は、それぞれ 5.14 ± 4.12 cmと 9.15 ± 5.60 cmであり、天然稚魚よりも人工種苗の方が値が大きく、両者には有意差が認められた(t -test, $p < 0.05$) (Fig. 29)。10分間の観察で得られた離着底間隔の測定値のうち、前半と後半の平均値には有意な差は認められなかった。

遊泳高度 天然稚魚と人工種苗の遊泳高度の平均値と標準偏差は、それぞれ 7.86 ± 5.33 cmと

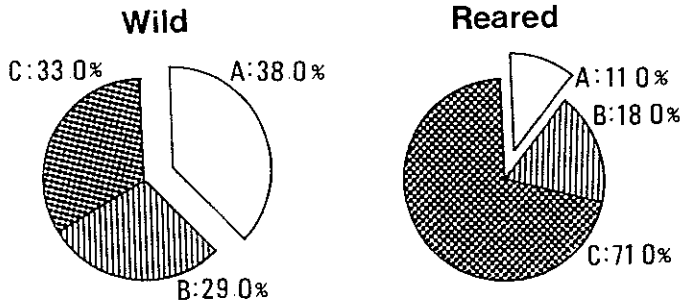


Fig. 28. Comparison of swimming-courses (classified into the 3 types shown in Fig. 3) of wild and hatchery-reared juvenile flounders.

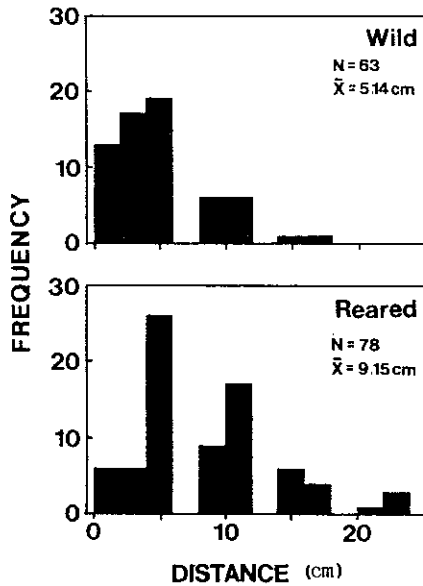


Fig. 29. Comparison of distance from initial to resettled position during feeding activity of wild and hatchery-reared juvenile flounders.

5.56±5.11cmであり、天然魚の方が人工種苗よりも遊泳高度が高く、両者には有意差が認められた(t -test, $p < 0.05$) (Fig. 30)。10分間で得られた遊泳高度の測定値のうち、前半と後半の平均値には有意な差は認められなかった。

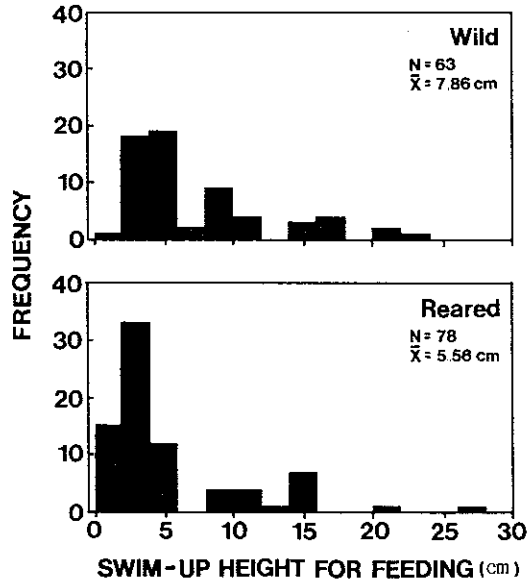


Fig. 30. Comparison of swim-up height during feeding of wild and hatchery-reared juvenile flounders.

考 察

摂食行動の測定方法 ヒラメ稚魚の摂食行動は、一昼夜の絶食の後に遊泳性のアミ類を投与することによって、実験的に容易に誘発できることが判った。しかし、一定期間の絶食後に突然餌料生物が供給される条件は、天然海域において稚魚が経験する状態とは異なると考えられるため、天然海域における摂食行動とは異なっている可能性もある。天然稚魚と人工種苗の離底時間 (Fig. 27) に示された経時的な変化、すなわち初期に俊敏で後期に鈍化する傾向には、この実験方法に起因する急激な胃内容物の増大や刺激の慢性化が影響していると推察される。しかし、この実験は由来の異なるヒラメ稚魚の摂食行動を相対的に比較することが主目的であることから、得られた測定値が天然海域で示される値と異なる可能性は大きな問題ではないと判断される。一方、当実験と同様な方法で行った実験¹¹⁾によって、設定条件が同じであれば得られる離底時間にも顕著な差はないことが確認されていることから、ヒラメ稚魚の摂食行動を簡便に比較する方法として当実験方法は有効であると考えられる。ただし、予備実験で観察されたように、水槽の振動や人影などによる実験中の外部刺激、アミの種類、アミ類の遊泳を妨げる実験装置の構造などによっては、適性な測定値が得られない場合があることには注意を払う必要があると考えられる。

人工種苗の摂食行動の特性と被食要因 摂食行動の測定値より、人工種苗は天然稚魚に比べて離底時間が長く、遊泳コースには反転傾向が少なく、その結果として離着底間隔が大きくな

ることが明らかとなった。また、遊泳高度が低いにもかかわらず離底時間が長いことから、索餌中の遊泳速度は遅いと考えられる。ヒラメ未成魚やマゴチなどの待ち伏せ型の捕食行動をとる捕食魚を想定したとき、ヒラメ稚魚が海底を離れている時間が長いほど捕食可能な時間が増し、遊泳速度が遅いほど捕食の成功率が高くなると考えられる。また、遊泳コースに反転傾向が少なく、離着底間隔が大きいほど広い範囲を遊泳することになり、その結果、捕食者に遭遇する確率が高まると考えられる。このような理由から、人工種苗に認められた摂食行動の特徴は、いずれも待ち伏せ型の捕食者による放流後の被食の確率を高める方向に作用すると考えられる。一方、同様な方法で行われた4回の実験⁴¹⁾によって得られた天然稚魚の離底時間の平均値は1.52秒から2.35秒の範囲で本実験と同様に小さく、5.0秒を超える離底時間はほとんど観察されていない。魚類の摂食行動は、被食リスクを軽減するように適応したものと考えられていることから、⁴¹⁾天然稚魚で認められたばらつきの少ない摂食行動の測定値は、被食を回避するために必要な臨界点を示しているものと考えられる。

以上の理由から、鳥取県の放流海域のように、待ち伏せ型の捕食魚が多く分布する海域においてヒラメ人工種苗の放流効果を向上させるためには、放流するヒラメ人工種苗の摂食行動を天然稚魚に近付ける方策を検討することが必要と考えられる。また、放流後の被食に係わるヒラメ人工種苗の野生化の判定指標の一つとして、これら摂食行動の各要素を用いることは有効であると考えられる。

第3章 天然稚魚の飢餓が被食に及ぼす影響

研究の背景と目的

日本海西部沿岸域では、毎年、大量のヒラメ仔魚が浅海域の成育場に参加し、着底後の稚魚が高密度に分布することが知られている。⁴²⁾しかし、それに比べて1歳魚以降の分布量は著しく少なく、⁴³⁾この間に、大量の減耗が生じている可能性が示唆される。鳥取県沿岸浅海域では、ヒラメ稚魚の個体数が夏期に急激に減少するが、^{9, 22, 44)}それに先行して稚魚の主要な餌料であるアミ類の分布量が著しく減少することから、飢餓の進行と関連した被食の可能性が指摘されている。^{28, 44)}近年、魚類仔稚魚の飢餓が被食の確率を高めることが実験的に証明されつつあり、^{24, 25)}着底後初期のヒラメ稚魚の主要な減耗要因としても飢餓と被食の複合が想定されている。⁴⁵⁾しかし、ヒラメ天然稚魚では潜砂など捕食されにくい行動特性があると考えられていることから、³⁶⁾減耗と被食を結び付ける機構は明かではなかった。ヒラメ稚魚は典型的な待伏せ型の摂食行動を行い、摂餌可能範囲に入った水中の餌を海底を離れて素早く摂食し、反転して直ちに着底する。これは被食の危険性を低くするための行動と考えられ、^{36, 46)}人工種苗では摂食行動と被食の関係が実験的に解析されている。^{11, 36, 46)}本章では、ヒラメ天然稚魚の摂食行動に注目して、飢餓と被食のつながりを把握するための水槽実験を行い、天然稚魚に見られる夏期の大量減耗の機構を考察した。

材料と方法

鳥取県中部にある砂浜浅海域(水深約0.5m~1.5m)で採捕したヒラメ天然稚魚を用いて、飢餓が摂食行動に及ぼす影響を絶食日数の異なる個体間で比較する水槽実験を行った(実験Ⅰ)。さらに、魚体サイズによる影響の現れ方の違い(実験Ⅱ)、および飢餓と被食との直接的なつながり(実験Ⅲ)を検討するための水槽実験を行った。

実験Ⅰ：飢餓による摂食行動の変化 絶食期間の異なるヒラメ稚魚が遊泳性のアミ類に対し示す摂食行動を実験的に観察した。全長約5cmの稚魚をそれぞれ10個体ずつ、底に細砂を敷いた透明なアクリル水槽(60×30×35cm、換水率約400%/時)に収容して1日、3日、5日および7日間の絶食飼育(以下1日群、3日群、5日群、7日群と記す)を行った(Table 7)。その後、水槽内に活力のある遊泳性のアミ類(*Neomysis japonica*が主体)約200個体を流水とともに流し込み、これによって誘発された摂食行動を前章と同様、水槽前面に設置したビデオカメラで10分間撮影した。観察時の条件を一定にするために、稚魚の採捕(飼育開始)は1994年5月26日から6月1日までの7日間に、1日おきに4回行い、摂食行動の観察は6月2日にまとめて行った。観察時に撮影したビデオ映像を用いて、稚魚が示す一連の摂食行動から、離底時間、遊泳コース⁴⁶⁾およびアミ類に対する摂餌攻撃回数(アタック回数)を測定した。このうち、遊泳コースについては、水槽内を複雑に泳ぎ回る行動をD型とし、反転傾向の強い順に3区分した前章の類型(A,

Table 7. Sea-caught flounder juveniles used in experiments on effects of starvation period.

Length of starvation (day)	Total length (mean \pm SD, mm)	Condition factor* ¹ before starvation	Condition factor* ² starvation
1	54.2 \pm 4.1	0.89 \pm 0.04	0.154 \pm 0.013
3	52.5 \pm 3.2	0.84 \pm 0.04	0.138 \pm 0.006
5	54.7 \pm 3.0	0.99 \pm 0.10	0.139 \pm 0.007
7	52.3 \pm 3.1	0.91 \pm 0.08	0.133 \pm 0.008

*1 Body wet weight (mg)/TL (mm)³ \times 100

*2 Body dry weight (mg)/TL (mm)³ \times 100

Table 8. Sea-caught flounder juveniles used in starvation experiments on effects of size on the feeding behavior

Size group	Total length (mean \pm SD, mm)	Number of fish
5cm	50.1 \pm 1.9	10
6cm	60.4 \pm 2.1	10
7cm	69.0 \pm 2.0	10
8cm	79.8 \pm 2.0	5
9cm	88.7 \pm 2.1	5

B, C)に加え、それぞれに3点から0点の反転成績を与えた。実験に用いた稚魚は採集直後(絶食飼育前)に全長と湿重量を測定し、また、摂食行動の観察直後(絶食飼育終了後)には全ての個体を約10%の海水ホルマリンで固定し、その後、全長と乾燥重量(胃内容物除去)を測定して肥満度を求めた。

実験II：飢餓の影響の魚体サイズによる違い それぞれ全長の異なる5群のヒラメ稚魚を5日間絶食飼育した後、実験Iと同じ方法で摂食行動の観察を行い、魚体サイズによる飢餓の影響の現れ方の違いを比較した。1994年6月23日に採集した稚魚を約1cm間隔に全長 5cmから9cmまでの5群に分け(以下5cm群、6cm群、7cm群、8cm群、9 cm群と記す)、それぞれ実験Iと同じアクリル水槽で5日間の絶食飼育を行った(Table 8)。実験に用いた稚魚の個体数は、魚体の大きさによる個体間関係への影響の違いを考慮して5cm群から7cm群まではそれぞれ10個体ずつ、8 cm群と9cm群では5個体ずつとした。実験に用いた稚魚は摂食行動の観察直後に全てを実験Iと同じ方法で固定し、その後、魚体を測定した。また、絶食による肥満度の低下量を推定するた

Table 9. Sea-caught flounder juveniles used in experiments on effects of starvation period on predation vulnerability to 1 year old flounder

Length of starvation (day)	Total length (mean \pm SD mm)	Number of fish
0	65.4 \pm 4.0	13
3	66.4 \pm 3.0	16
5	68.4 \pm 4.7	16
7	68.7 \pm 5.1	20

め、採集時に平均全長と標準偏差が54.8 \pm 3.1cm, 75.0 \pm 2.9cm, 94.8 \pm 3.5cmの3群の稚魚をそれぞれ51個体, 62個体および20個体, 実験に用いた稚魚と同じ方法で固定し, その後に魚体を測定した。

実験IとIIで得られた各行動要素の測定値は分散分析と多重比較によってそれぞれの平均値の差を検定した。ただし、離底時間とアタック回数の組成はJ型に近い非対称分布を示したので(Figs. 31, 33, 35, 37)測定値を対数変換し、正規分布に近似した後に検定を行った。

実験III：飢餓と被食の関係 絶食日数の異なるヒラメ稚魚の被食率をヒラメ1歳魚を捕食者として水槽実験によって比較した。実験には底に細砂を敷いたFRP製の水槽(230 \times 90 \times 60cm, 換水率約20%/時)を用い、内部をポリエチレン製の網(目合5mm)で2区画に仕切った。このうちの1区画にヒラメ1歳魚を3個体(平均全長263 \pm 38mm)収容し、7日間の絶食飼育を行った。残る1区画にはヒラメ稚魚52個体を1日おきに3回に分けて放流し、その後3日, 5日および7日間の絶食飼育(以下3日群, 5日群, 7日群と記す)を行った(Table 9)。さらに、絶食飼育開始7日後に通常の給餌飼育をした13個体(0日群)を追加し、その直後に仕切網を撤去して1歳魚と稚魚が同一区画内に分布する状態とした。続いて、水槽内に活力のある遊泳性のアミ類(*Neomysis japonica*が主体)を約1000個体放し、稚魚の摂食行動を誘発した。仕切網の撤去とアミ類の収容はヒラメの摂餌日周期性^{33, 34)}を考慮して夕刻(16時から17時までの間)とした。仕切網を撤去した翌日(9時~10時)に水槽内部のヒラメ稚魚と1歳魚を全て取り上げ、生き残った稚魚の個体数とともに1歳魚の胃内容物を調べた。なお、稚魚には放流前に絶食日数ごとに色調の異なるラテックス標識を無眼側に施した。

結 果

実験 I 実験に用いた個体の肥満度には、採集直後の各群の値に明瞭な差が認められなか

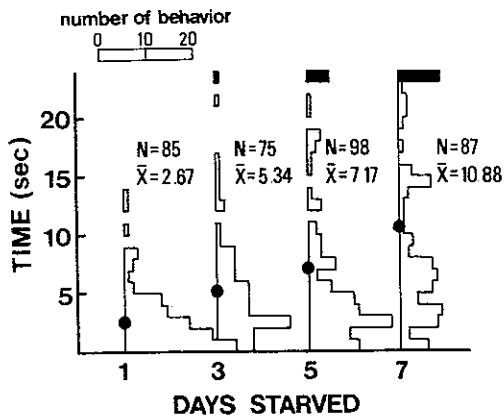


Fig. 31. Changes in time of off-bottom swimming for each feeding behavior of sea-caught juvenile flounder with progress in starvation. Open bars represent frequency of off-bottom swimming time, solid bars indicate that beyond 24 seconds, and solid circles average value.

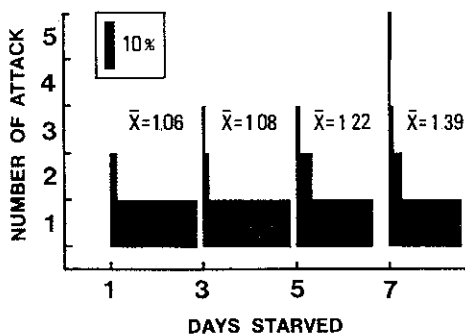


Fig. 33. Changes in average number of attack to prey mysid in each feeding behavior of sea-caught juvenile flounder with progress in starvation

ったのに対し、絶食飼育後の個体では、その日数の増加とともに顕著な低下傾向が認められ (Table 7), 各群の平均値の間には有意水準0.1%で差が認められ、3日群と5日群の間を除いた全ての群間にも有意水準0.1%から1.0%で差が認められた。10分間のビデオ映像から得られた測定対象となる摂食行動 (遊泳コースが水槽の壁面に接して行動が阻害された場合を除く)⁴⁶⁾ は、1日群で85回、3日群で75回、5日群で98回、7日群で87回であった。個々の摂食行動から測定した行動要素のうち、離底時間の平均値は、1日群で2.67秒、3日群で5.34秒、5日群で7.17秒、7日群で10.88秒と、1日群に対して3日群、5日群および7日群では約2倍、3倍および4

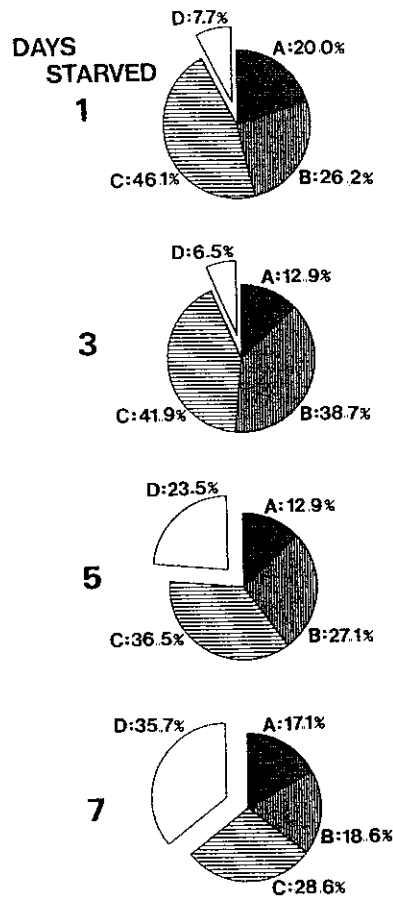


Fig. 32. Changes in swimming-course for feeding (4 types, A to D) of sea-caught juvenile flounder with progress in starvation. Swimming courses from A to D represent from natural (wild) to unnatural.

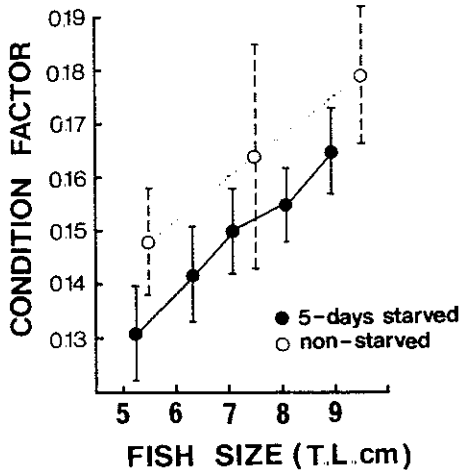


Fig. 34. Effect of 5 days starvation on condition factor at each size class of sea-caught juvenile flounder. Condition factor was calculated by dry weight (mg)/TL(mm)³×100. Vertical lines indicate standard deviation from the mean.

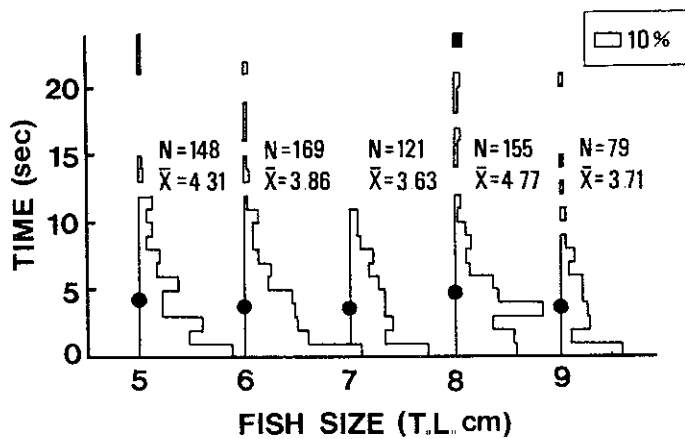


Fig. 35. The relationship between frequency composition of time for feeding behavior and fish size of sea-caught juvenile flounder starved for 5 days. Solid circles represent mean time of swimming, open bars indicate the % frequency of swimming time, and solid bars that beyond 24 seconds.

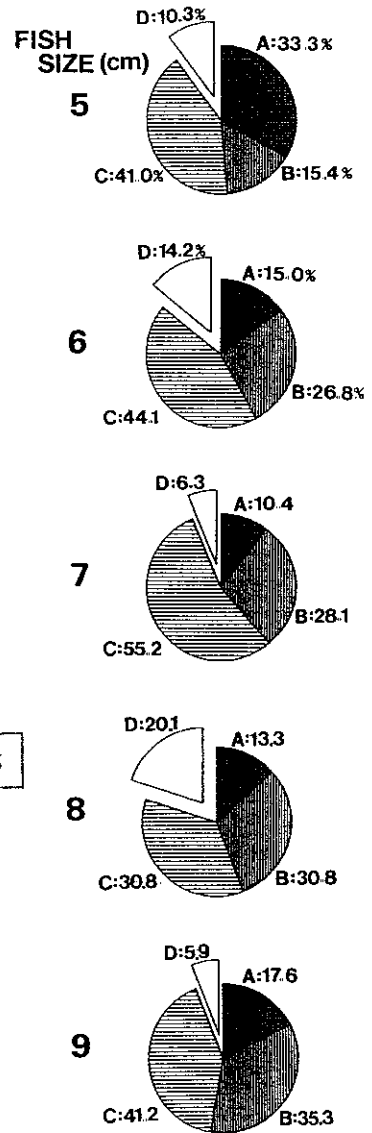


Fig. 36. Comparison of swimming-course composition (between sizes) of sea-caught juvenile flounder starved for 5 days.

倍となり、絶食日数の増加とともに急激に長くなる傾向が認められた(Fig. 31)。なお、各群の平均値の間には有意水準0.1%で差が認められ、それぞれの群間には3日群と5日群の間を除いて有意水準0.1%から1.0%で差が認められた。遊泳コースでは、4類型のうちD型の比率が1日群と3日群に比べて5日群では極めて大きく、7日群ではさらに増大した(Fig. 32)。これに対し、C型の比率は絶食日数にともない減少し、A型とB型の比率も1日群と3日群に比べて5日群で

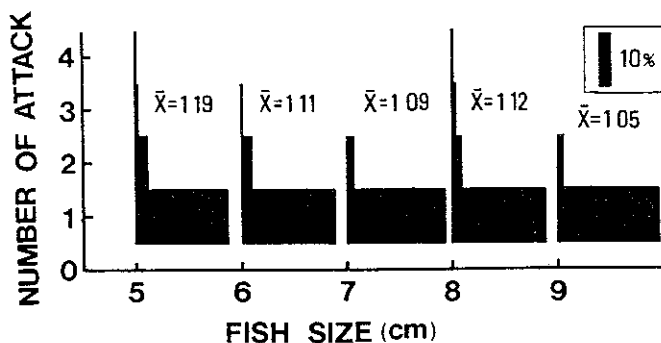


Fig. 37. Average number of attack in a feeding behavior of sea-caught juvenile flounder starved for 5 days at 5 size classes. Number of attack is presented by a par one off bottom feeding behavior.

は減少し、7日群ではさらに減少した。各群の遊泳コースの反転成績とその標準偏差は1日群で 1.58 ± 0.89 、3日群で 1.58 ± 0.79 、5日群で 1.26 ± 0.79 、7日群で 1.12 ± 0.10 と、絶食5日後には、急激に低下し、各群の平均値の間には有意水準5%で差が認められ、それぞれの群間には1日群と7日群、3日群と7日群との間にそれぞれ有意水準5%で差が認められた。アタック回数では、絶食日数の増加とともに1回の摂食行動で2回以上のアタックを行う行動が増加し、7日群では5回のアタックも観察された (Fig. 33)。アタック回数の平均値には、1日群で1.06回、3日群で1.08回、5日群で1.22回、7日群で1.39回と、絶食日数とともに増加する傾向が示され、各群の平均値の間には有意水準0.1%で差が認められ、それぞれの群間には1日群と5日群、3日群と7日群の間に有意水準0.1%で、また5日群と7日群の間に有意水準5%で差が認められた。

実験 II 絶食飼育終了後の各群の肥満度の平均値と標準偏差は $0.148 \pm 0.011 \sim 0.179 \pm 0.013$ の範囲で全長とともに増加し、5cm群と9cm群の平均値には0.031の差が示された (Fig. 34)。採集直後に固定した3群の稚魚の肥満度も $0.148 \pm 0.011 \sim 0.179 \pm 0.013$ の範囲で全長とともに増加傾向を示したが、絶食飼育後の同等サイズの稚魚に比べると、3群とも肥満度は $0.010 \sim 0.015$ の範囲で高い値を示し、5日間の絶食飼育によって各群とも、ほぼ同様に肥満度が低下したことが推定された。

10分間のビデオ映像から得られた測定対象となる摂食行動は5cm群で148回、6cm群で169回、7cm群で121回、8cm群で155回、9cm群で79回であった。個々の摂食行動から測定した行動要素のうち、離底時間の平均値は5cm群で4.31秒、6cm群で3.86秒、7cm群で3.63秒、8cm群で4.77秒、9cm群で3.71秒と、稚魚の全長との間に明瞭な関係はなく、各群の平均値の間には有意差は認められなかった (Fig. 35)。遊泳コースの4類型の比率には、成長にともなう顕著な変化は認められず、その反転成績は5cm群から9cm群までそれぞれ 1.72 ± 1.04 、 1.43 ± 0.91 、 1.43 ± 0.76 、 1.38 ± 0.95 、 1.65 ± 0.84 だった (Fig. 36)。

アタック回数の平均値は、5cm群が1.19回、6cm群が1.11回、7cm群が1.09回、8cm群が1.12回、9cm群が1.05回と、全長にともなう顕著な変化傾向はなく、各群の平均値の間にも有意差は認

められなかった(Fig. 37)。

実験Ⅲ 絶食飼育終了後に仕切網を開放した直後の水槽内では、放したアミ類に対してヒラメ稚魚の活発な摂食行動が観察されたが、1歳魚による捕食は観察されなかった。しかし、翌日、水槽内に生残していた稚魚は0日群が13個体、3日群が14個体、5日群が14個体、7日群が18個体と、0日群を除いて2個体ずつ減少していた。また3個体の1歳魚のうち2個体の胃内容物から3日群、5日群および7日群がそれぞれ2個体ずつ確認され、絶食していない稚魚は捕食されなかったのに対し、絶食飼育した稚魚はほぼ同程度に捕食される結果となった。

考 察

飢餓と摂食行動の関係 実験Ⅰの結果から、全長約5cmの天然稚魚の摂食行動は短期間(3~7日間)の絶食によって顕著に変化することが明らかとなった。また、絶食にともなうこのような摂食行動の変化は、全長約5cmから9cmの範囲の天然稚魚にほぼ同様に現れることが実験Ⅱの結果から推定された。両実験ともに、稚魚の肥満度には顕著な低下傾向が認められたことから、このような摂食行動の変化は飢餓の進行にともなう魚体力の消耗に起因していると考えられる。

これまで、筆者らは、通常に種苗生産されたヒラメ人工種苗では天然稚魚に比べて離底時間が明らかに長く、その平均値は4.00秒~6.24秒の範囲であることを報告した^{11, 36, 46)}しかし、同じ方法で天然稚魚の摂食行動を測定した実験Ⅰでは、絶食期間が5日以上の子魚の離底時間の平均値が7.17秒~10.88秒と、前述の人工種苗の値を大きく上回ることから、天然稚魚でも飢餓の進行により、通常の人工種苗以上に摂食行動が緩慢になる可能性を示した結果として注目される。また、筆者らのヒラメ稚魚の摂食行動の観察では、遊泳コースは大きく3類型(A, B, C)に分類され、人工種苗では天然稚魚に比べて反転をとまなわない類型(C型)の比率が高いことを指摘した。^{36, 46)}これに対し、短期間の絶食飼育を行った人工種苗には、水槽内を水平方向に複雑に泳ぎ回る、従来の3類型のいずれにも当てはまらない行動が多くなることが指摘されている。⁴⁷⁾実験Ⅰにおいてもこれと同様な遊泳行動(D型)が絶食日数にともなって増加し、同時にアタック回数も増加していることから、このようなD型の遊泳コースが増加した背景には、一回の摂食行動でアミ類に対して2回以上のアタックを行う、連続捕食行動の増加があると推定される。アミ類に対するこのような摂食行動の変化は、いずれも飢餓と深く係わっていることが推定される。

なお、実験Ⅰの5日群と実験Ⅱの5cm群では設定条件がほぼ同様であるにもかかわらず、両者の摂食行動の測定値には比較的大きな差が示された。両者の肥満度には大きな差がないことから、飢餓の状態以外にも摂食行動の測定値に影響をおよぼす要因がある可能性が考えられる。両実験はそれぞれ1994年6月2日と6月28日に行っており、海水温などの環境条件にやや違いがあったことが考えられる。これらの環境条件はそれぞれの実験内においては同一であることから、各群の測定値の比較には問題はないが、各実験間の比較を行うためにはこれら測定値に影

響をおよぼす環境条件について明らかにする必要がある。

飢餓と被食の関係 放流されたヒラメ人工種苗の主要な減耗要因としてヒラメ未成魚やマゴチなど待伏せ型の魚類による捕食が報告されている。^{9 38 46)} また、人工種苗は天然稚魚に比べて、これらの魚類に捕食されやすい特性があると考えられている。^{36 38 46)} すなわち、人工種苗は天然稚魚に比べて摂食行動のための離底時間が長く、遊泳速度が遅く、また、遊泳コースには反転傾向が少なく、遊泳距離が長いことから、このような長い距離をゆっくり遊泳する摂食行動が被食の確率を著しく高めるものと考えられる。一方、本研究と同じ測定方法で行った実験^{11 36 46)} では、天然稚魚の離底時間が5秒を上回することはほとんどなかったことから、被食のリスクを軽減するための適応として、天然稚魚の摂食時の離底時間には臨界点が存在すると考えられる。これらの知見は、ヒラメ稚魚にとって摂食時に長時間海底を離れたり、長い距離を遊泳することが被食の危険性を増加する方向に作用することを示すとともに、天然稚魚の摂食行動には被食の危険を回避する機能(対捕食者行動)があることを示唆している。

しかし、本実験Ⅲでは、天然稚魚においても、わずか3日間の絶食が被食につながる可能性が示され、また、実験Ⅰでは短期間の絶食にともなう天然稚魚の摂食行動の変化が、いずれも待伏せ型の捕食魚類による捕食の確率を高める方向に直接作用すると考えられた。これらの結果は、もともと捕食されにくい性質を持った天然稚魚においても飢餓の進行によって短期間に極めて捕食されやすい状態に変化することを示唆している。

ところで、稚魚後期のヒラメ人工種苗においては、短期間(10日間程度)の絶食による飢餓が直接の死亡原因とはなりにくいと考えられている。^{13 14)} 天然稚魚においても同様と考えられるが、飢餓が極めて被食につながりやすいことを示した本実験結果より、天然稚魚の減耗要因として改めて飢餓の重要性を喚起するものである。

天然稚魚の減耗要因について 鳥取県の沿岸浅海域では、大量に加入、着底したヒラメ稚魚が6月中旬以降に急激に減耗すると考えられており、^{9 22 44)} その主要因としてヒラメ未成魚などの魚食性魚類による捕食の可能性が指摘されている。^{38 44)} しかし、ヒラメ天然稚魚には人工種苗に比べて捕食されにくい行動特性があると考えられていることから、^{36 46)} これまで天然稚魚の主要な減耗要因に被食を結びつける根拠が不十分であった。しかし、本実験の結果、天然稚魚においても、飢餓状態によっては人工種苗と同様に捕食されやすい行動を示すようになることが明らかになった。鳥取県沿岸のヒラメ稚魚成育場においては、通常6月上旬から中旬にヒラメ稚魚の主要な餌料生物であるアミ類の分布量が急激に減少すること、^{28 49)} また、ほぼ同時期にヒラメ未成魚やマゴチなどの捕食魚の分布量が増加すること³⁸⁾ から、餌料条件の悪化に起因する飢餓がヒラメ天然稚魚の被食による減耗を拡大させている可能性が推定される。

人工種苗放流技術について ヒラメ人工種苗では、4日以内の絶食によって摂食行動が捕食されやすい方向に変化することが確認されている。¹⁷⁾ もともと天然稚魚より捕食されやすい行動特性のある人工種苗では、飢餓の進行によって被食の危険性はさらに大きくなると考えられる。したがって、人工種苗の放流にあたっては、放流直後から餌料が豊富に得られる場所を選定することが何よりも重要となる。また、ヒラメ稚魚は成長とともに、食性がそれまでのアミ類主体から魚類へと変化し、それにともなって浅海域の成育場から深所へと生息域を拡大す

る。^{57,50)} また、鳥取県の沿岸浅海域でアミ類の分布量が減少する夏期までに、水深30m以深に生息域を拡大する当歳魚には全長10cm以下の稚魚はほとんどいない。^{22,44)} これらの知見は、ヒラメ人工種苗の放流にあたっては放流した人工種苗が深所に移動できるサイズ(全長10cm以上)に成長するまで、アミ類を十分に摂餌できる期間を考慮した放流時期とサイズを設定することが極めて重要なことを示している。

第4章 天然稚魚の減耗実態

研究の背景と目的

山陰地方沿岸砂浜域は、大量に着底するヒラメ当歳魚の重要な、成育場となっていることが知られている。^{9 16 42)}しかし、漁獲に加入する1歳魚以降の資源量は当歳魚に比べて極めて少ないと推定され、^{43 51)}また浅海域の稚魚育成場では例年6月以降にヒラメ当歳魚の分布量が急激に減少することが報告されている。^{9 22)}これらは、着底後の稚魚期に大量の減耗が発生している可能性を示唆している。^{9 43)}このような成育場におけるヒラメ稚魚の減耗過程、とりわけ、どのような稚魚が減耗するのかを把握することは、日本周辺のほぼ全域で実施されている人工種苗放流の効果を高める上で非常に重要と考えられる。本報では、鳥取県沿岸浅海域におけるヒラメ当歳魚の分布、成長、餌料条件、摂餌状態および被食状態の季節的变化を調査し、大量減耗の機構を考察した。

材料と方法

1989年から1991年にかけてヒラメ人工種苗の放流実験を行ってきた鳥取県中部に位置する泊村地先の砂浜浅海域に設定した調査海域(Fig. 38)において、1994年には放流を行わず、1月から8月にヒラメ当歳魚だけを対象とした分布量、全長組成、摂餌状態(胃内容物、摂餌率)、および肥満度の季節的变化を調査した。また、アミ類の分布量とヒラメ1-2歳魚の胃内容物も併せて調べた。調査海域の水深3mから13mの等深線に沿って設けた5本の調査定線においてビームトロールⅠ(ビーム長3m、目合7mm)を用いてヒラメ当歳魚の採集を行い、入網した個体数とGPSで測定した曳網距離によって曳網面積あたりの入網個体数を求めた。また、成長にともない調査海域沖合の深所に移動したヒラメ当歳魚の全長組成を調べるためにビームトロールⅡ(ビーム長10m、袋網目合10mm)を用いて採集を行った。採集したヒラメ当歳魚はその場で10%海水ホルマリンで固定し、持ち帰って全長(mm)、体重(胃内容物除去後の湿重量(g)、乾燥重量(g))および胃内容物重量(湿重量(g))を測定した。調査期間中に2回、水深3m、5mおよび7.5mの定線に沿った延長400m、幅1mの範囲において潜水計数器²²⁾を用いたヒラメ当歳魚の分布密度を調べ、その直後に同じ定線上で曳網したビームトロールⅠに入網した個体数と比較してヒラメ当歳魚に対する当該漁具の採集効率を算出した。

アミ類の調査は、調査海域の水深5m、10mおよび13mに設けた定線においてソリネット(網口2.0×0.4m、目合0.7mm)を400mから620m曳網することにより行った。採集したアミ類の湿重量(g)を測定して曳網面積あたりの入網重量を求めた。また、ヒラメ当歳魚の被食状態を把握するために、調査海域とその周辺から潜水、刺網および曳縄釣を用いてヒラメ1、2歳魚を採集し、胃内容物を調査した。また、水深の異なる定線で採集した稚魚の全長および採集日の異なる稚魚の肥満度の平均値の差の検定を分散分析と多重比較、またはt検定によって行った。

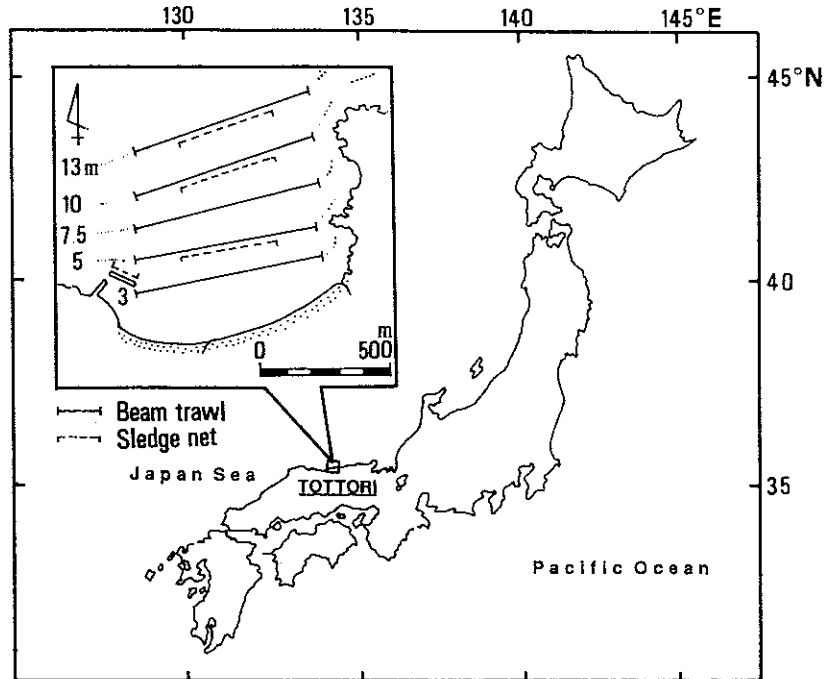


Fig. 38. Location of the surveyed area for wild juvenile flounder. Solid and dashed lines indicate sampling lines by beam trawl for juvenile flounder and by sledge net for mysids, respectively

結 果

分 布 量 1994年4月22日から7月18日までの間にビームトロールIによる調査を7回行い、全長12mmから153mmのヒラメ当歳魚を4,623個体採集した。1回の調査で曳網した面積は3,600m²から10,710m²であり、採集したヒラメ当歳魚は4個体から1,329個体であった。曳網面積あたりの入網個体数から推定した調査海域における各調査日ごとの分布密度は、4月22日にはわずか0.001個体/m²であったが、5月23日には0.089個体/m²と急激に増加し、6月6日には最大値の0.147個体/m²に達した。その後、6月16日の0.116個体/m²、6月23日の0.045個体と6月中旬以降に急激な減少傾向が認められた(Fig. 39)。7月に入ると、11日の0.025個体/m²、18日の0.017個体/m²と減少傾向はやや弱まった。

全長組成 採集個体の全長測定の結果、4月22日には全長31mmから43mm(平均±標準偏差: 38.0±3.81mm)の個体が4個体採集されたのみであったが、約1カ月後の5月23日には全長12mmから87mm(34.3±12.9mm)の着底直後の稚魚から成長した稚魚まで幅広い全長組成の個体が大量に分布した。さらに6月6日には全長12mmから109mm(43.8±15.0mm)、6月16日には全長17mmから140mm(60.3±21.4mm)の稚魚が採集され、全長組成は大型個体の側に広がる形となった(Fig.

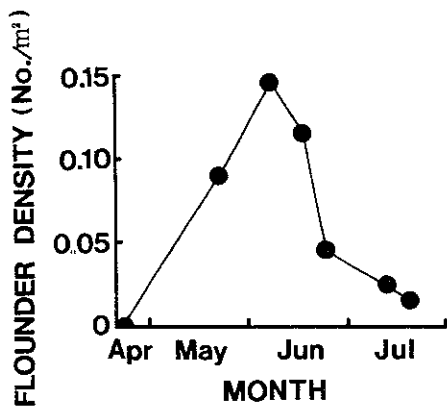


Fig. 39. Seasonal changes in density of 0-group wild flounder estimated by a beam trawl.

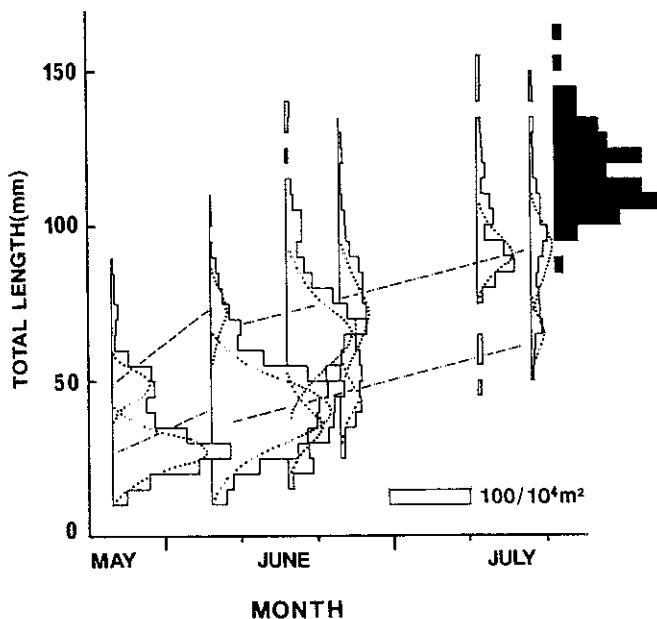


Fig. 40. Seasonal shift in size-distribution and change in abundance of 0-group wild flounder in 1994.

Open bars indicate fish collected in the surveyed area shallower than 13m taking the density into consideration, and closed bars for fish collected in offshore nursery area of 20-50m in depth, not taking the density into consideration.

40). 6月23日以降には着底直後の小型個体(全長15mm以下)の入網がなくなり、その後、最小個体のサイズが大型化したことから、当調査海域への浮遊期仔魚の加入は6月中旬までにはほぼ終了したと推定された。5月23日以降の全長組成には異なる二つのモード(大型群、小型群)の存在が推定された。各全長組成から、二つのモードを正規分布として赤嶺らの方法⁵²⁾で解析し

Table 10. Seasonal changes in number of 2 size group of juvenile flounder estimated from size distribution in surveyed area in 1994 using by Akamine's method⁵²⁾.

Size		May 23	Jun 6	Jun 16	Jun 23	Jul 11	Jul 18
Group	Item						
Large	Area (%)	26.3	6.6	80.9	77.1	— *	73.8
	Number/10000m ²	226	97	930	293	200	118
	Mean (TL mm)	48.82	74.15	65.01	71.89	92.71	93.59
	S.D. (TL mm)	5.75	8.54	18.25	17.95	8.64	13.9
Small	Area (%)	73.7	93.4	19.1	22.9	—	26.2
	Number/10000m ²	634	1367	220	87	—	42
	Mean (TL mm)	27.13	40.88	34.57	43.96	—	63.70
	S.D. (TL mm)	6.62	12.7	8.54	7.63	—	7.24

* Computation did not work due to insufficient data.

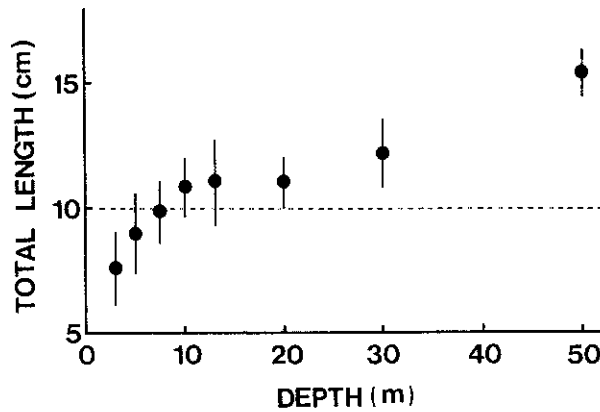


Fig. 41. Average total length of 0-group flounder at each sampling depth collected by a beam trawl in 1994. Total lengths are shown by mean (solid circles) with \pm standard deviation.

た結果、小型群の分布量は6月6日に最大値(1,367個体/10,000m²)を示し、調査海域内に分布するヒラメ当歳魚の90%以上を占めたが、その後、6月23日には最大値の6%、7月18日には3%となり、ほとんどの個体が全長100mmに達することなく当海域から急激に減少した(Table 10)。一方、大型群の分布量は6月16日に最大値(930個体/10,000m²)を示した後、6月23日には最大値の23%と急激に減少し、さらに7月18日には13%となったが、小型群に比べて減少傾向は緩やかであった。それぞれの正規分布の平均値と経過日数から求めた当歳魚の成長速度は5月23

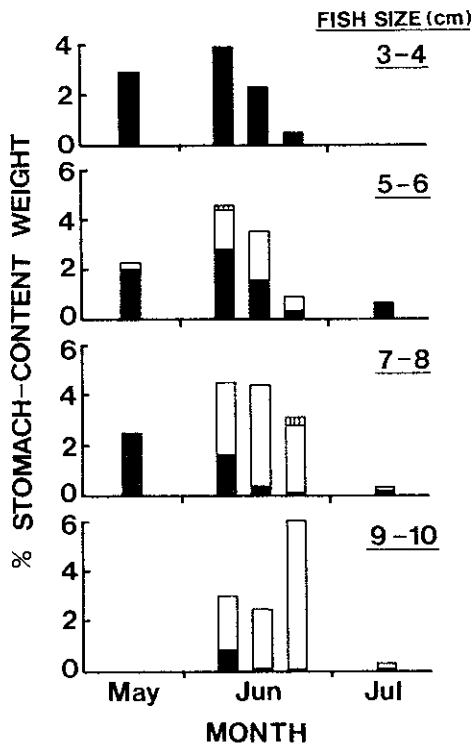


Fig. 42. Seasonal changes in food intake index expressed by percentage of stomach-content weight to the body weight (wet) of juvenile wild flounder in 1994. Closed, open and vertical striped bars indicate mysid, fishes and the other preys.

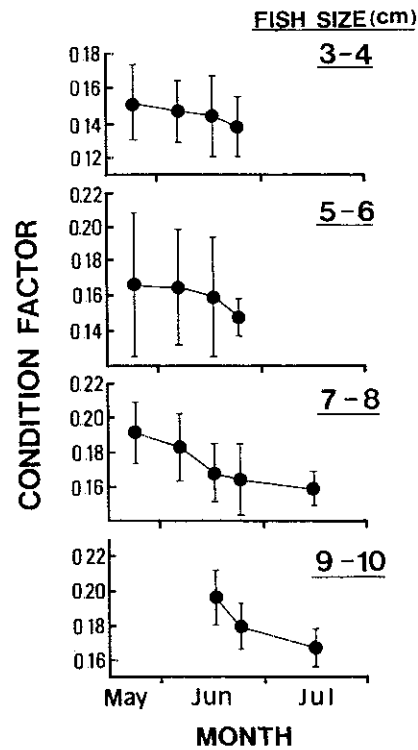


Fig. 43. Seasonal changes in condition factor (dry weight(mg) \times 100/TL(mm)³) of flounder juveniles. Solid circles dots and vertical lines indicate the mean and standard deviation

日から6月6日までの間では大型群で1.80mm/日、小型群で0.98mm/日と顕著な差が認められたが、6月6日から7月18日までの成長速度を直線回帰分析した結果、大型群で0.64mm/日、小型群で0.63mm/日と両者ともに著しい低下傾向を示した

7月21日から28日までの間に調査海域沖合の水深20mから50mにおいてビームトロールⅡを用いて採集した189個体のヒラメ当歳魚の全長は87mmから173mm(平均±標準偏差: 133.6±20.8mm)と、その主体は全長100mm以上の個体であり、6月中旬以降に調査海域から急激に減少した全長100mm以下の小型群の全長組成とは大きく異なった(Fig. 40) また、当調査海域においてヒラメ当歳魚の分布量が減少した後の7月18日から7月28日までの10日間にビームトロールⅠとビームトロールⅡで採集された332個体のヒラメ当歳魚の全長は浅海域(水深10m以浅)では水深が深くなるにつれて顕著な大型化の傾向を示し、各群の平均値の間には有意水準0.1%で差が認められ、それぞれの群間には有意水準5%以下で差が認められた(Fig. 41)。一方、水深10mから20mまでの間で採集された当歳魚の平均全長には有意差は認められなかったが(ANOVA, $p > 0.05$)、水深20m以深では水深とともに平均全長は大型化する傾向があり、各群の平均値の間に

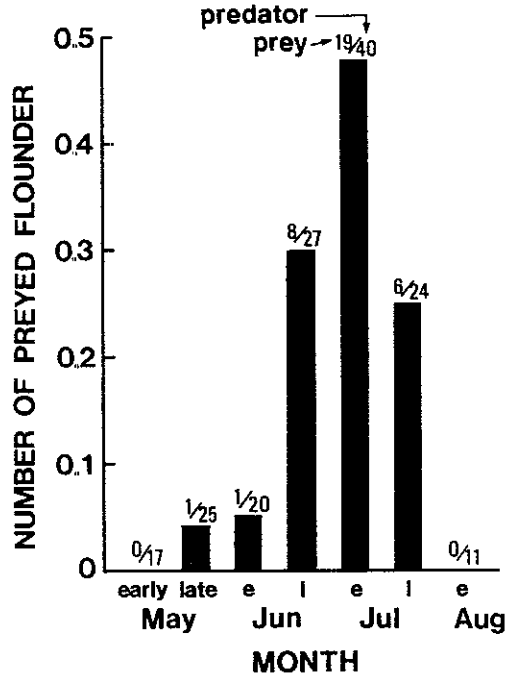


Fig. 44. Seasonal changes in predation rate on 0-group wild flounder by 1-2 group flounder in 1994. Mean predator size was 287.5 ± 28.1 mm TL and mean prey size was 66.6 ± 17.4 mm TL.

有意水準0.1%で差が認められ、それぞれの群間にも有意水準0.1%で差が認められた。この結果も、この時期に沖合域(水深10m-50m)に分布するヒラメ当歳魚には、6月中旬以降に浅海域で急激に減少した小型群につながる全長10cm以下の個体がほとんど認められないことを示している。

摂餌状態 調査海域において採集されたヒラメ当歳魚のうち、1,232個体について全長範囲ごとに胃内容物の種類と摂餌率(胃内容物重量 $\times 100$ /胃内容物除去体重)を調べた(Fig. 42)。このうち全長3-4cmは386個体、5-6cmは449個体、7-8cmは262個体、9-10cmは135個体であった。全長3cmから8cmの当歳魚の摂餌率は、6月上旬を最高値に季節の進行とともに小型魚ほど急激に減少し、7月には極めて低い値となった。全長9-10cmの当歳魚の摂餌率の最高値はやや遅れて6月下旬に現れたが、7月には小型魚と同様に極めて低い値となった。胃内容物の大部分はアミ類とカタクチイワシ稚魚で占められたが、小型魚ほどアミ類への依存度は高く、全長3-4cmの当歳魚の胃内容物からはカタクチイワシはほとんど出現しなかった。アミ類とカタクチイワシ以外ではネズボ類、マダイ、イカ類および端脚類が出現したが、その量は極めて少なく、ヒラメは全く出現しなかった。摂餌率に占めるアミ類の比率は5月から6月上旬が高く、カタクチイワシのそれは6月上旬から下旬に高かった。6月下旬の各サイズの胃内容物組成ではカタクチイワシの摂餌率が大型魚ほど高く、全長5-6cm以下の当歳魚では極めて低かった。

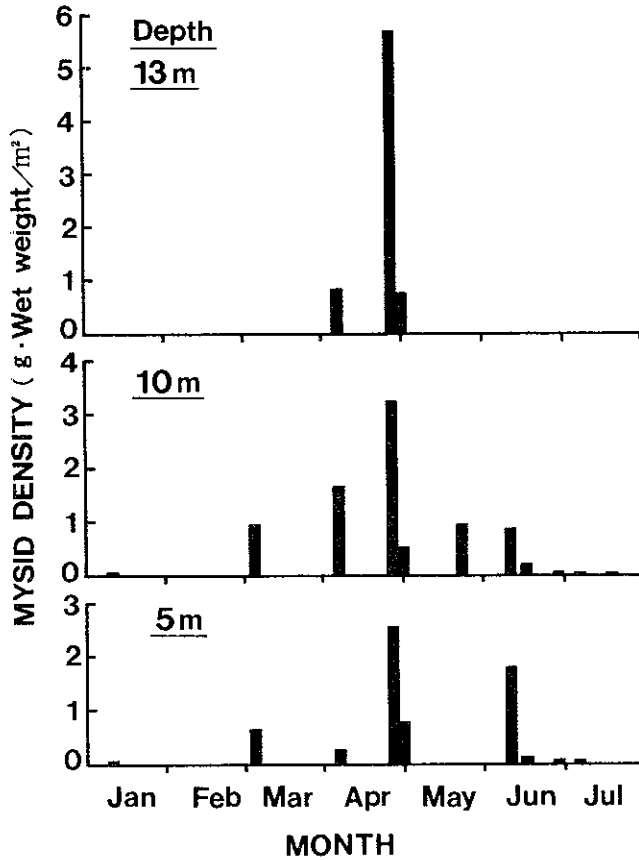


Fig. 45. Seasonal changes in mysid biomass at 3 depths 5m, 10m and 13m in the surveyed area in 1994

肥満度 前述の個体の肥満度(胃内容物除去乾燥体重 $\times 100$ /全長³)には、全長9-10cmを除いてどのグループにも6月に低下傾向がみられ、5月23日と6月23日の平均値にはいずれのグループにも有意差が認められた(ANOVA, $p < 0.05$) (Fig. 43)。一方、全長9-10cmの当歳魚の肥満度にも6月16日以降には急激な低下傾向がみられ、6月16日、6月23日および7月11日の平均値の間には有意水準1%で差が認められ、それぞれの平均値の間にも有意水準0.1%で差が認められた。

被食状況 1994年5月9日から8月8日までの間にヒラメ1,2歳魚を166個体採集し胃内容物を調査した結果、27個体の胃内容物より35個体のヒラメ当歳魚が出現した(Fig. 44)。胃内容物からのヒラメ当歳魚の出現率(当歳魚出現個体数 $\times 100$ /調査1,2歳魚個体数)は6月前半までは極めて低い値であったが、6月後半には急激に上昇し、7月前半の47.5%を最高値に7月後半にも高い値が続き、8月前半には再び急激に低下した。当歳魚を捕食したヒラメのサイズ(全長と標準偏差)は 287.5 ± 28.1 mmであり、ほとんどが1歳魚と推定された。一方、胃内容物から出現したヒラメ当歳魚のサイズは 66.6 ± 17.4 mm(最小個体:27mm, 最大個体:102mm)であったが、出現率の高かった6月後半、7月前半および7月後半のサイズはそれぞれ 71.0 ± 7.5 mm, 67.6 ± 18.1 mm および 70.4 ± 4.3 mmで、同時期に調査海域に分布するヒラメ当歳魚の全長組成(Fig. 40)と比較

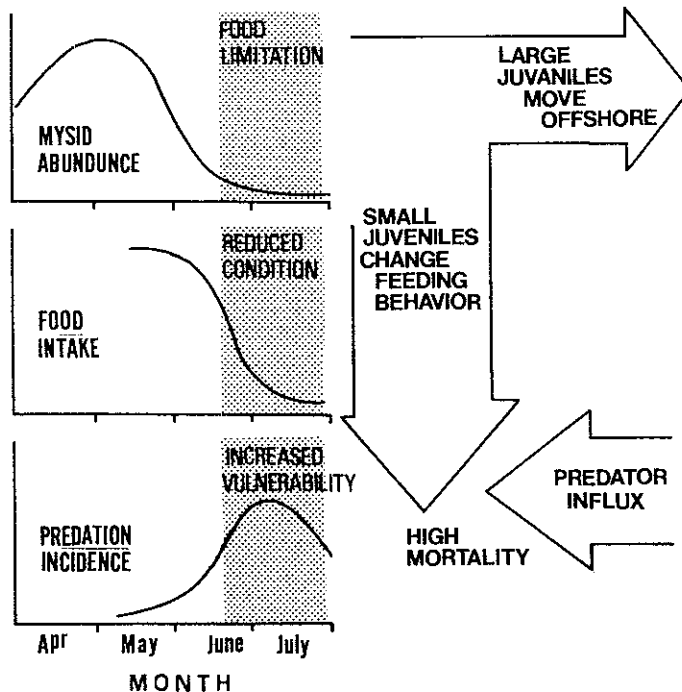


Fig. 46. Mortality model of starvation-related predation on juvenile flounder, based on seasonal changes in critical elements related to mortality.

すると6月後半では大型群，7月前半と後半では小型群に属する稚魚が多かった

餌料生物の分布 1994年1月10日から7月19日までの間にソリネットを用いた調査を水深5mで9回，水深10mで11回および水深13mで3回行った。アミ類採集量(湿重量)は季節により0.002g/m²から5.683g/m²までの範囲で大きく変動した。アミ類の密度は1月には極めて低く，3月にやや増加し，4月下旬を最大値に6月上旬まで高い値を保ったが，6月中旬に急激に減少し，その後は極めて低い値となった(Fig. 45)。5月の調査は水深10mでの1回のみであったが，5月21日の潜水調査では水深5mに大量のアミ類が分布しているのが観察された。4月下旬までは水深5mに比べて水深10mでアミ類の密度が高く，特に4月下旬には水深13mで極めて高い値であった。季節の進行とともに分布の中心は浅い方に移り，6月上旬には水深5mで最も高い値となった。

ビームトロールIの採集効率 1994年7月7日に水深3m，5mおよび7.5mの定線で採集効率算出のための調査を行った。ヒラメ当歳魚の潜水計数器による密度はそれぞれ0.073個体/m²，0.115個体/m²および0.063個体/m²であったのに対し，ビームトロールIを用いた採集個体数はそれぞれ0.062個体/m²，0.071個体/m²および0.036個体/m²であった。これより，ビームトロールIの採集効率は水深3mでは84.9%，水深5mでは75.5%および水深7.5mでは40.4%と推定された。

同様に，7月11日に水深5mと7.5mで行った調査の結果，ヒラメ当歳魚の分布密度は0.057個体

／ m^2 と0.118個体／ m^2 であったのに対し、採集個体数は0.045個体／ m^2 と0.027個体／ m^2 であった。これより、ビームトロールⅠの採集効率は水深5mでは78.9%、水深7.5mでは22.9%と推定された。以上の結果、水深3mから7.5mまでの間におけるビームトロールⅠの採集効率は22.9%から84.9%の間で約4倍の変動があり、より深所で低い傾向が認められたが、同じ水深における調査日の間には大きな差がないと考えられた。ビームトロールⅠは採集効率が比較的高く、調査日間にも顕著な差がないことから、これを用いて調査したヒラメ稚魚の分布量には採集効率による補正は行わなかった。なお、ビームトロールⅡは採集効率が不明なため、分布量の調査には用いなかった。

考 察

当歳魚の減耗要因 鳥取県沿岸浅海域のヒラメ人工種苗放流海域(水深13m以浅)に分布する天然ヒラメ当歳魚のうち、分布量の主要な部分を占める全長10cm以下の小型個体が6月中旬以降に、急激に減少する傾向はこれまでも報告してきた。^{9,43)}本調査は1章と同じ海域において人工種苗放流の影響のない条件下で天然当歳魚のより詳しい生態的知見を得るために実施したが、当歳魚の分布量は1章と同様に6月中旬から7月上旬に急激に減少する傾向を確認した。ヒラメ稚魚は成長とともに深所に移動すること^{5,22)}より、このことが浅海域における減少要因の一つになっている可能性も推定される。特に、6月以降には全長10cmを上回る大型個体が出現することから、成長に伴う深所への移動が減少要因の一つとなっている可能性があると考えられる。しかし、浅海域から小型個体が大量に姿を消した後の7月中旬に水深10m以深の沖合に分布する当歳魚のほとんどは全長10cm以上であり、小型個体の全長組成の季節変化から推定される全長範囲よりかなり大きい値となる。したがって、6月中旬以降にみられる小型個体の急激な数の減少を引き起す主要因は成長にともなう深所への移動ではなく、浅海域内における大量減耗であると考えられる。

これまで、天然ヒラメ稚魚の減耗要因として着底直後の餌不足やそれに連動した被食の可能性が指摘され、^{45,53)}その直接の要因としてエビジャコによる捕食¹⁸⁾や当歳魚間の共食の可能性¹⁹⁾があげられている。しかし、これらの知見はいずれも着底直後の稚魚期初期の個体が主体であるのに対し、本調査では着底期の減耗を乗り越えて、より成長した稚魚期においても大量の減耗が生じていることを初めて具体的に示したものである。この時期の減耗要因として、山下は魚類による被食を想定しており、¹⁰⁾また筆者らは当調査海域において放流したヒラメ人工種苗の主要な減耗要因がヒラメ、マゴチによる被食であることを報告している。³⁸⁾本章では、捕食者として調査海域における分布量が極めて多いヒラメ1-2歳魚に注目して調査を行った。その結果、ヒラメ稚魚の数が急激に減少したのとほぼ同じ時期に高い頻度の被食が確認されたことから、ヒラメ1-2歳魚による被食が天然稚魚の主要な減耗要因となっている可能性が裏付けられた。

ヒラメ稚魚は短期間(1週間以内)の飢餓で摂食時の対捕食者行動の俊敏性を著しく失い、ヒ

ラメ1-2歳魚やマゴチなどの待伏せ型の捕食魚に食べられやすくなることを3章で指摘した。⁵⁴⁾ 当調査海域では6月中旬以降にアミ類の分布量が急激に減少する。環境中の餌生物の減少に伴い、アミ類への依存度の大きい小型個体ほど早く摂餌率が低下し、それにもなって肥満度も低下した。一方、調査海域では6月以降にヒラメ1-2歳魚の分布量が急激に増加する。³⁸⁾ これら季節の進行に伴う生物的環境条件の変化により、当海域では6月中旬以降に生じるアミ類分布量の急激な減少によって小型個体に飢餓が進行し、対捕食者行動の鈍化を引き起し、沖合より浅海に加入する捕食者の増加が被食頻度を急激に増加させるという減耗機構が想定された(Fig. 46)。一方、7月下旬に深所(水深20-50m)で採集された当歳魚の全長組成と、当調査海域における若魚期の胃内容物調査結果の報告⁵⁵⁾ から、浅海域における餌料条件が悪化する6月中旬までに全長10cm以上に成長した大型個体の多くは沖合の深所に移動し、餌料の主体をそれまでのアミ類から魚類に移してさらに成長を続けていると考えられる。

人工種苗放流技術への応用 鳥取県沿岸浅海域に大量に分布するヒラメ当歳魚は、6月中旬から7月上旬の間に全長組成の主要な部分を占める全長10cm以下の小型個体を中心に大量に減耗することが本調査によって推定された。これより、ヒラメ人工種苗の放流にあたっては、このような減耗が生ずる時期に同等サイズの人工種苗を放流しても効果は期待できないと判断される。当調査海域においては1982年から1992年までの間に、平均全長27mmから93mmのヒラメ人工種苗を毎年12.5万尾から74.6万尾放流してきたが、放流尾数に見合う効果は得られていない。⁵⁶⁾ その直接の原因としてヒラメ1-2歳魚やマゴチによる放流後初期の被食の可能性が高いこととともに、十分な摂餌ができないことによる飢餓の進行が捕食されやすさの増大に結びついていることが推定されていた。^{28, 38)} 本研究の結果、これらの人工種苗の全長はいずれの年にも同海域に分布する天然稚魚の全長組成と同等あるいはそれ以下であったことから、放流後の急激な減耗は天然当歳魚の小型群と同じ機構で発生していたと考えられる。一方、浅海域に大量に分布する当歳魚のうち、同海域におけるアミ類の分布量が急激に減少する時期までに全長10cm以上に成長した個体は沖合に移動して、資源に加入するものと考えられる。したがって、より高い放流効果を得るためには、放流海域からアミ類が減少する時期までに全長10cm以上に成長できる期間を考慮した放流時期とサイズの選定が極めて重要である。

ヒラメ当歳魚では体長差が大きい場合(3倍以上)には同一年級群間での共食が生じることが指摘されており、^{19, 57)} 人工種苗の大型個体を早期に放流することで、放流海域に分布する小型の天然稚魚が放流した人工種苗によって捕食されることが懸念される。しかし、当歳魚の全長差が最大5倍近くにもなる当調査海域において、1,232個体のヒラメ当歳魚の胃内容物を調べた結果、ヒラメ稚魚は全く認められなかったことから、人工種苗による天然稚魚の捕食の可能性は少ないと考えられる。また、小型の天然稚魚の多くが減耗して漁業資源につながらないとすれば、人工種苗による被食があったとしてもヒラメ資源に対する影響は少ないと考えられる。

第5章 人工種苗の資源添加効果の実証

研究の背景と目的

鳥取県において1982年から1992年までの間に実施したヒラメ人工種苗放流(以下「従来放流群」と記す)では放流初期の減耗が著しく、十分な効果が得られていない。^{9 22 58)} 放流が行われた6月中旬以降は、主要な餌料生物であるアミ類の分布量が急激に減少し、主要な捕食者であるヒラメ1-2歳魚とマゴチが増加する時期にあたることから、飢餓に起因する捕食されやすさの増大が被食による大量減耗につながっていたと考えられた。^{28 38)} 一方、放流海域に大量に分布するヒラメ天然稚魚においても、季節的な餌料条件の悪化に伴って、飢餓が進行し、個体数の上では多数を占める小型個体に大量減耗が生じている可能性が示唆された。^{44 59)} 一方、浅海域の成育場において餌料条件が悪化する前に、沖合の深所に移動できる全長約10cm以上に成長した大型個体は、上記の減耗過程に巻き込まれることなく、餌料の主体をそれまでのアミ類から魚類に移して成長を続けていると考えられた。そこで、これらの生態的知見を基礎に人工種苗の放流をアミ類が豊富で捕食者が少ないより早い時期(5月中旬)に行い(以下「早期放流群」と記す)、その効果を実証した。

材料および方法

放流 鳥取県栽培漁業センターにおいて1994年に従来(1992年以前)より約1カ月早い時期に生産したヒラメ人工種苗99万尾を1994年5月10日から20日までの間に県内4ヶ所(淀江, 青谷, 賀露, 浦富地先の海域)に分けて放流した(Table 11, Fig. 47)。放流前に放流海域の等深線に沿ってソリネット(網口2×0.4m, 目合い1mm)によるアミ類の採集調査を行い、分布量の最も多かった水深10mに沿った幅約200m, 長さ約1,000~2,000mの範囲に人工種苗を分散して放流した。⁶⁰⁾

放流後初期の追跡調査 全ての放流海域において放流直後に潜水を行い、人工種苗の行動とアミ類の分布状態を観察した。浦富海域と賀露海域の水深3m, 5m, 7.5m, 10m, 12.5mに設定した調査定線において放流10日後(浦富海域)と14日後(賀露海域)にビームトロール(ビーム長3m, 目合7mm)を500mから1,150m曳網し、人工種苗と天然当歳魚を採集した。採集物はその場で10%海水ホルマリンで固定し、研究室に持ち帰った後に全長, 体重(胃内容物除去湿重量), 胃内容物湿重量を測定した。

混獲魚調査 鳥取県中部沿岸域で操業する泊村漁協所属の小型底曳網漁船(5t, 50馬力未満)2隻を標本船とし、漁獲物に混入したヒラメ当歳魚(投棄物)に含まれる人工種苗の比率と全長を1994年7月から12月まで調査した。また、県東部から中部沿岸域で操業する賀露漁協と泊村漁協に所属する小型底引網漁船を対象に漁獲物に混入した人工種苗当歳魚の魚体を回収し全長を測定した。

市場調査 財団法人鳥取県栽培漁業協会が県内7漁協で水揚されるヒラメを対象に、人工種

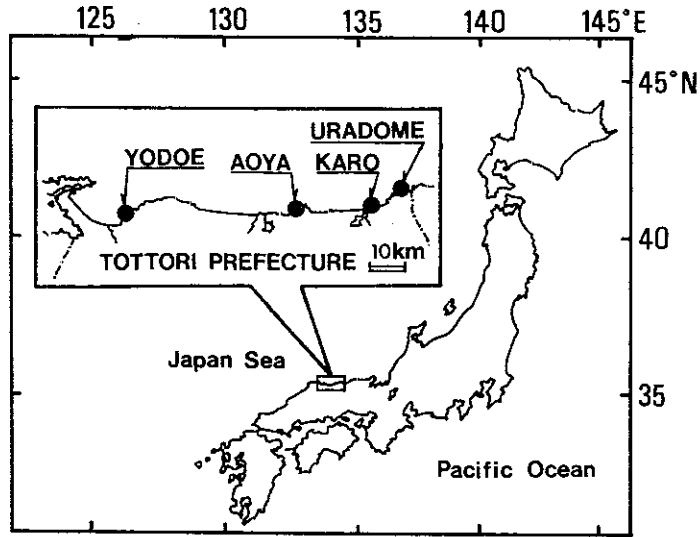


Fig. 47. Map showing four release areas (Yodoe, Aoya, Karo and Uradome) for Japanese flounder juveniles conducted in 1994 (10 to 20 May).

Table 11. Details of release for hatchery-reared flounder in a coastal water of Tottori Prefecture (1994)

Date of release	Released size (II. cm)	Number of released flounder (thousand)	Area of released flounder
May 10	45.7 ± 7.8	212	Yodoe
13	54.2 ± 9.5	230	Uradome
17	56.9 ± 9.6	229	Karo
20	59.1 ± 10.5	328	Aoya
Total		999	

苗の年級群ごとの放流効果を把握するために実施している市場調査結果⁶¹⁾より、1990年級群から1995年級群までの回収率を求め、年間の比較を行った。また、前記2漁協の市場において1994年級群の人工種苗を対象に全長を測定した

なお、人工種苗と天然当歳魚の識別は、1994年に放流した全ての人工種苗の魚体の無眼側に発現していた黒色素斑により行った。

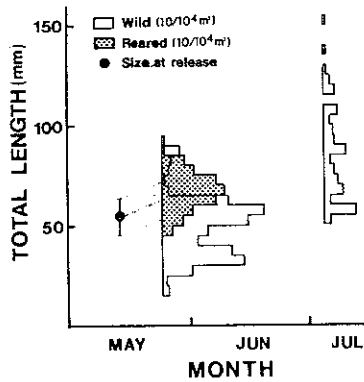


Fig. 48. Total length distributions of released (10 days after) and wild Japanese flounder juveniles in Uradome area. Closed circle represents mean total length with \pm standard deviations of released fish.

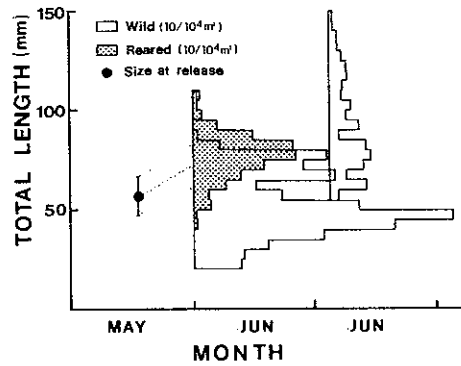


Fig. 49. Total length distributions of released (14 days after) and wild Japanese flounder juveniles in Karo area. Closed circle represents mean total length with \pm standard deviations of released fish.

放流後初期の追跡調査 放流直後に行った潜水調査では、どの放流海域でも人工種苗の周囲に遊泳性のアミ類が大量に分布し、それに対して人工種苗が盛んに捕食行動をとっている様子が観察された。また、放流された人工種苗は着底直後から潜砂行動をとり、ほとんどの個体が30分以内に潜砂をした。浦富海域において5月24日(放流10日後)に人工種苗と天然当歳魚をそれぞれ201個体と410個体、また賀露海域において5月31日(放流後14日目)に同じく179個体と576個体採集した。採集したヒラメ人工種苗の平均全長と標準偏差は浦富海域が 62.3 ± 9.2 mm、賀露海域が 72.1 ± 10.5 mmで、放流時と比較して1日当たりそれぞれ 0.81 mmと 1.09 mmの成長速度を示した(Fig. 48, 49)。同時に採集した天然当歳魚の全長組成は浦富海域では15mmから100mm、賀露海域では15mmから115mmの範囲であり、いずれの海域においても異なる二つのモード(大型群、小型群)の存在が推定された。人工種苗は天然当歳魚の大型群よりもやや大きいグループに位置付けられ、分布密度は浦富海域で 0.014 個体/ m^2 、賀露海域で 0.024 個体/ m^2 で、両海域に分布するヒラメ当歳魚に占める割合はそれぞれ32.9%と23.9%であった(Fig. 48, 49)。7月4日に浦富海域(放流後52日目)と賀露海域(放流後48日目)において採集したヒラメ当歳魚の全長組成はそれぞれ50mmから155mmと55mmから150mmの範囲であり、5月下旬の調査時より大型化した。しかし、分布密度はそれぞれ 0.009 個体/ m^2 と 0.017 個体/ m^2 と著しく減少しており、このうち人工種苗は賀露海域でわずかに1個体採集されたのみであった。

5月24日に浦富海域において採集した人工種苗(199個体)の摂餌率(胃内容物重量 $\times 100$ /胃内容物除去体重)の平均値と標準偏差は $5.55 \pm 3.93\%$ であり、同時に採集された同等サイズの天然当歳魚(241個体)の $5.41 \pm 2.73\%$ とほぼ同様の摂餌状態が認められた(Fig. 50)。なお、人工

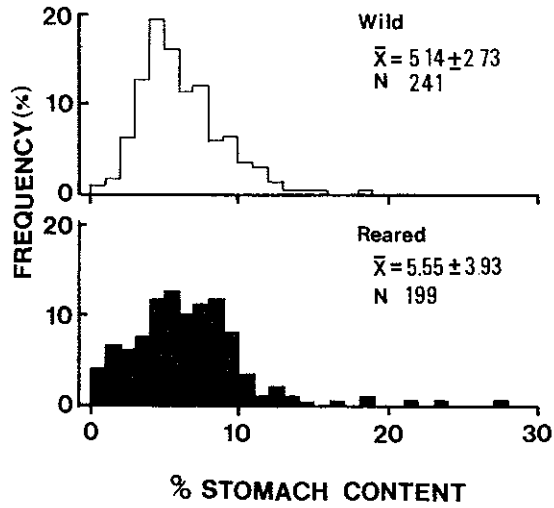


Fig. 50. Percent stomach content (% of stomach content weight to body weight) of released (14 days after) and wild Japanese flounder juveniles collected on 24th May 1994 in Uradome area.

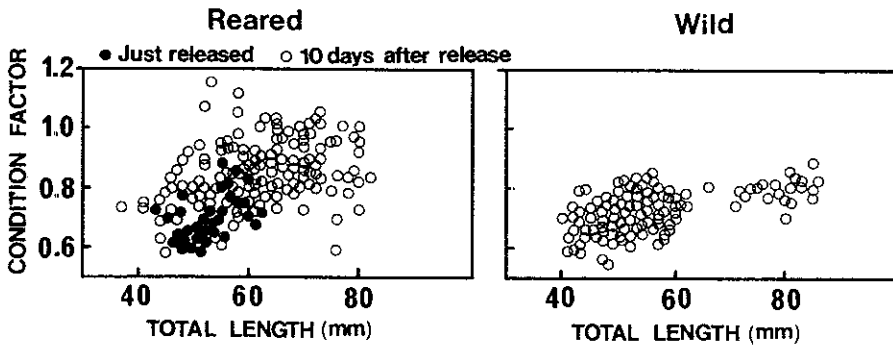


Fig. 51. Condition factors of released and wild juveniles collected in Uradome area on 24th May 1994. Solid and open circles for reared flounder represent juveniles at just release and 10 days after release, respectively.

種苗の胃内容物のほとんどはアミ類で占められ、次いでカタクチイワシが多く出現した。その他の生物はごく少なく、ヒラメ稚魚の出現は全く認められなかった。また、人工種苗の肥満度(胃内容物除去体重(湿重量)×100/全長³)の平均値と標準偏差は 0.84 ± 0.12 であり、放流時の 0.77 ± 0.10 より増加し、同等サイズの天然当歳魚の 0.73 ± 0.09 を上回った(Fig. 51) 同様の傾向は賀露海域において採集されたヒラメ人工種苗にも認められた。

混獲魚調査 2隻の標本船により1994年7月から12月までの間に混獲されたヒラメ当歳魚のうち、1,021個体を調査した結果、人工種苗が75個体混入していた。この間の混獲率(人工種苗個

Table 12. Catching data for released flounder (1994-year class) by beam trawl net fished at offshore area of the central part of Tottori prefectural

Survey period	Sampled fish	Released fish in the sample	Released fish ratio (%)	Recaptured fish size (TL, mm)
1994 Jul	233	12	5.2	147 ± 17
Aug	202	11	5.4	179 ± 36
Sep	18	1	5.6	213 ± 4
Oct	173	19	11.0	208 ± 38
Nov	346	31	9.0	208 ± 38
Dec	48	1	2.1	225 ± 35
Total	1,020	75	7.4	

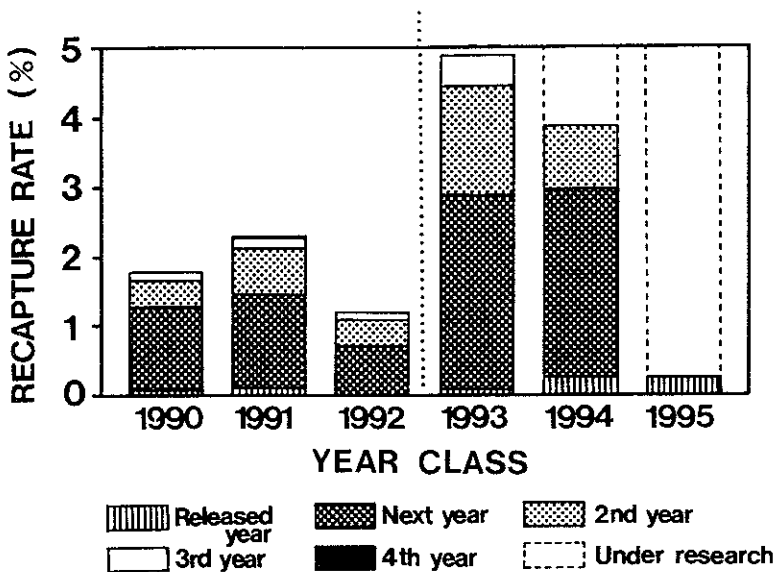


Fig. 52. Percent recapture of Japanese flounder released in Tottori coastal area during 1990 to 1995, showing significant increases of % recapture since 1993 at which earlier release started

体数×100/全当歳魚個体数)の平均値は7.4%であり、月別の値は2.1%から11.0%の範囲で変化した(Table 12)。前記と同じ期間に賀露漁協と泊村漁協に所属する小型底引網漁船から176個体の人工種苗の提供があり、その全長は7月の147±17mm(平均値±標準偏差)から12月の225±35mmへの増大が認められた。

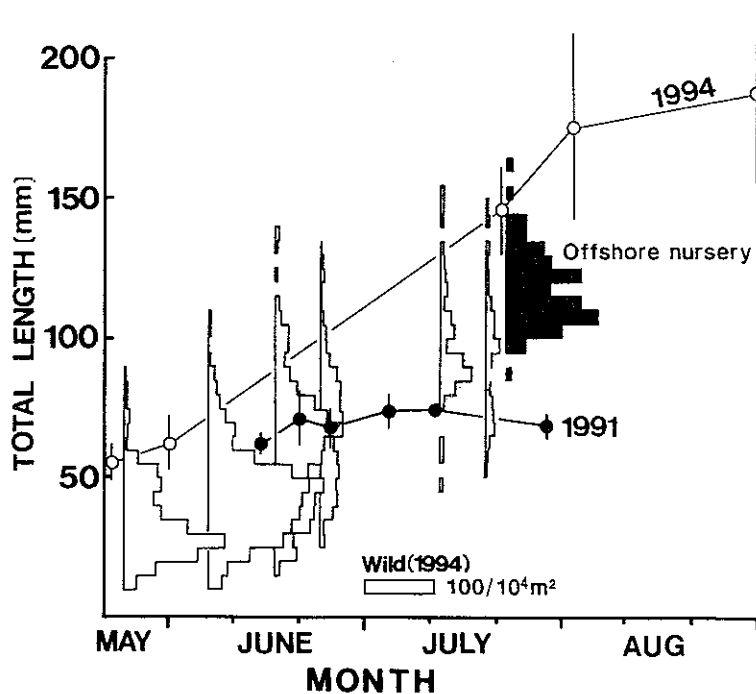


Fig. 53. Contrasting length increase between 1991 and 1994 groups in released Japanese flounder with length distribution shift of 1994 wild juveniles. Black length distribution indicates that for juveniles which have moved to offshore nurseries.

市場調査 財団法人鳥取県栽培漁業協会が1997年3月に報告したヒラメ人工種苗放流効果調査結果⁶¹⁾より、1990年から1995年までの間に放流された人工種苗を対象に推定した放流後の漁獲回収率をFig. 52に示した。これより、6月中旬以降に放流を行っていた1992年までの年級群(従来放流群)に比べ、5月上旬から6月上旬に放流を行った1993年以降の年級群(早期放流群)では放流翌年と2年目の回収率が約2倍から3倍に増加し、最終的に大幅な増加を見込める結果が得られた。このうち1994年級群の人工種苗は同年12月以降には市場に水揚げされる漁獲物(ヒラメは体長制限により全長25cm以上)に出現し始めた。12月の全長組成の平均値と標準偏差は 31.3 ± 2.4 cmであった。

考 察

1994年に放流した人工種苗(早期放流群)を対象にした追跡調査の結果、放流10日後または14日後の人工種苗の状態は従来放流群とは大きく異なり、浅海域におけるヒラメ稚魚成育場への添加が極めて良好に行われたと考えられる。従来放流群では放流後の摂餌率が常に1%以下と同じ海域に分布する天然稚魚より低く、明確な成長は認められず、放流後の肥満度にも明らかな低下傾向が認められた。被食による大量減耗の結果、生残率は短期間に10%以下となった。

^{9 22 28)} 一方、早期放流群では、放流後の摂餌率は同じ海域に分布する天然稚魚と同様に極めて

高く、肥満度には増加傾向が認められ、成長速度も著しく早かった。また、放流を行った海域は広く、地形が開放的なため生残率の推定は行っていないが、放流10日後または14日後の人工種苗の分布密度は高く、当海域のヒラメ当歳魚の中で大きな比率を占めていたことから、放流後初期の減耗は従来放流群に比べてはるかに少なく、生残率が著しく向上したと判断された。

天然稚魚の減耗に関する調査の結果、鳥取県浅海域のヒラメ稚魚成育場においては、稚魚の主要な餌料であるアミ類の分布量が季節的に急激に減少する6月中旬までに、沖合域に移動して餌の主体を魚類に移すことが可能な全長約10cm以上に成長していることが資源加入の重要な条件になると考えられた。⁵⁹⁾ 当調査では浦富海域と賀露海域において放流後48日または54日が経過した7月4日には人工種苗の分布がほとんど認められず、その後、放流海域の沖合で操業する小型底引網の漁獲物に人工種苗が継続的に混獲され始めた。これらの混獲個体の全長は季節的に大型化していったことから、放流した人工種苗の多くが天然資源への加入機構に適合して、沖合域の成育場に移動したものと推定される。

これら混獲された人工種苗(1994年放流群)の成長を従来放流群(1991年放流群)や同じ年の天然当歳魚と比較すると、1994年放流群の成長は両者に比べて極めて早く、放流3ヵ月後の8月には全長20cmを超える個体が出現している(Fig. 53)。さらに、12月には既に全長30cmを超えた人工種苗が市場に出現し始め、1994年放流群は放流年内に漁獲資源に加入したと考えられる。これまで鳥取県におけるヒラメ満1歳魚の平均的な全長は約24cmと考えられている³⁰⁾ことから、早期放流には人工種苗の生残率を向上させるだけでなく、漁獲加入までの期間を大幅に短縮する効果があると考えられる。

一方、県内7漁協における人工種苗の漁獲回収率は、早期放流を実施し始めた1993年以降の年級群で著しく増加したことから、早期放流群は従来放流群に比べて地先の漁獲資源により効果的に添加すると考えられる。

ところで、早期放流によって放流海域に分布するヒラメ当歳魚の大型個体が増加することが、同じ海域に分布する天然の小型個体に及ぼす影響が懸念される。しかし、人工種苗の胃内容物にはヒラメ天然稚魚が全く出現しなかったことから、人工種苗の捕食による天然稚魚への顕著な影響はないと考えられる。また、浅海域における天然当歳魚の全長組成の主体となっている小型個体の多くが餌料条件の季節的な低下にともなって減耗すると考えられる⁵⁹⁾ことから、このような小型個体が漁獲対象資源に大きな影響を及ぼすとは考えられない。しかし、浅海域において餌料条件が季節的に低下し、環境収容力の限界に達する時期まで人工種苗が分布する場合には、天然稚魚との競合関係が生じることとなる。したがって、人工種苗の放流にあっては餌料環境に不足が生じる時期までに浅海域の稚魚成育場から沖合域へ移動できるサイズに成長可能な放流時期とサイズに関するより詳細な検討が必要である。さらに、沖合の成育場においても餌料条件を主とした環境収容力を検証することが今後は必要となると考えられる。

第6章 研究成果に対する総合考察

本研究の目的と成果

本研究の目的は現在事業化に向けて進められているヒラメ人工種苗のより効果的な放流技術の開発を行動・生態学的側面から進めることにある。特に、放流された人工種苗は放流初期の短期間に大量に減耗し、それが放流効果の発現を妨げている大きな要因であると推定されたことから、まず放流後初期の減耗要因の解明を試みた。そして、その要因を回避することにより生残率を飛躍的に向上させ、浅海域の稚魚育成場に人工種苗を効率的に添加する方法の確率を目的に研究を進めた。

まず、鳥取県沿岸の浅海域で放流されているヒラメ人工種苗を対象に放流後初期の人工種苗の減耗実態に関する野外調査を行った。その結果、人工種苗には十分な摂餌が行えないため飢餓が進行し、ヒラメ1-2歳魚やマゴチなどの魚食性魚類の捕食によって大量に減耗していることが明らかとなった。また、鳥取県のヒラメ稚魚育成場においては毎年6月以降に稚魚の主要な餌料生物であるアミ類の分布量が急激に減少し、これとは逆に魚食性魚類のヒラメ1-2歳魚やマゴチの分布量が急激に増加する。6月中旬以降に放流されていたこれまでの人工種苗の減耗には、被食による直接的な減耗に加えて飢餓と被食の複合的な要因が関与している可能性があると考えられた。

これらの野外調査と併行して進めた水槽実験において、ヒラメ人工種苗には天然魚に比べて魚食性魚類に極めて捕食されやすい行動特性があることが明らかとなった。また、天然稚魚でもごく短期間の絶食による飢餓の進行によって摂食行動を極めて捕食されやすい方向に変化させることが判明した。

以上の研究結果から、季節的な変化として生じる餌料条件の低下した時期に放流された人工種苗には短期間に飢餓が進行し、それによって極めて捕食されやすい行動特性が発現し、育成場に分布密度を増した魚食性魚類の捕食による大量減耗が発生していると考えられた。

一方、天然魚を対象とした調査によって、このような減耗過程は鳥取県の浅海域に幅広い全長組成で大量に分布するヒラメ天然稚魚にも認められ、個体数の上で大半を占める小型個体のほとんどが6月中旬以降に急激に減耗している実態が明らかとなった。これに対し、それまでに全長約10cm以上に成長した大型個体は、浅海域のヒラメ稚魚育成場においてアミ類分布量の減少によって餌料条件が悪化する時期までに沖合の育成場へと移動し、生残して成長を続けていると考えられた。

そこで、このような天然の大型個体にサイズをあわせるため、従来より約1カ月早い時期に種苗生産した人工種苗の放流をアミ類の分布量の最も多い5月中旬に行った結果、放流後の摂餌状態が極めて良く、順調に成長した。また、6月以降には全長10cm以上に成長した人工種苗の沖合への移動が確認され、県内7漁協で実施している市場調査によって12月以降に全長30cm以上に成長した個体の漁獲物への加入が認められた。このような成長速度はこれまでに放流さ

れた人工種苗に比べて極めて早いだけでなく、天然魚の平均的な成長速度を大きく上回った。さらに、その後の市場調査によって早期に放流した人工種苗は従来の放流群に比べて2倍から3倍の漁獲回収率が推定されたことから、天然稚魚の資源加入条件にタイミングをあわせた人工種苗の放流は、漁獲回収率の増大と漁獲回収までの時期の短縮の両面で、高い資源添加効果を期待できると考えられた。

残された課題

放流時期を従来より約1カ月早めることによりヒラメ1-2歳魚やマゴチなどの昼行性の魚食性魚類の捕食による減耗が大幅に軽減され、放流後初期のヒラメ人工種苗の生残率が飛躍的に向上することがわかった。しかし、鳥取県沿岸のヒラメ稚魚成育場においては夜行性の捕食動物によるヒラメ人工種苗の減耗の可能性が指摘されている。特に、ヒラツメガニをはじめとする砂浜性のカニ類のヒラメ稚魚成育場における分布量は春期から夏期に極めて多いことから、早期に放流した人工種苗の大きな減耗要因となっている可能性がある。しかし、調査の困難さもあってこれら夜行性の捕食者によるヒラメ人工種苗の被食実態の解明とその対応は進んでいない。

近年、より民間に近い機関によって進められているヒラメ人工種苗の放流事業は、次の段階として、経済的な効果を求めて種苗生産経費の軽減のための放流サイズの小型化を求めつつある。人工種苗の放流方法を天然魚の資源加入条件にあわせることにより、放流時期をどこまで早めることが可能であるのかを、経済的な評価も含めて今後検討する必要がある。

一方、天然魚にも季節的な餌料条件の低下にともなって、成長の遅い小型個体を主体に大量の減耗が生じていることが明らかとなった。このことは、天然稚魚においても季節によっては餌料を主体とした環境許容力の限界に遭遇する可能性を示唆している。したがって、人工種苗の放流にあたっては、生残率を高めるために、このような限界を超えないことだけでなく、限界近くで生残する天然魚に影響を与えない範囲で沖合の成育場に移動できる時期とサイズをさらに詳細に検討することが重要である。また、沖合の成育場に移動した後の餌料環境等に関する知見は極めて乏しい。沖合の成育場に参加する人工種苗と天然魚を合わせた環境収容量の検討は今後進められる放流事業において、特に放流量の上限を見積る基準として重要性を増すと考えられる。

ところで、近年、ヒラメを始めとする人工種苗の健苗性に関する研究が積極的に進められている。しかし、大量生産を余儀なくされる生産現場において生産される人工種苗には骨格や色素を始めとする多くの異常が未だに発生し、これが放流後の生残率に及ぼす影響には重大なものがある。栽培化の一層の進展のためには、今後、人工種苗生産技術の開発と放流技術の開発とはさらに強い連携をもって進められて行くことが不可欠と考えられる。

要 約

1. 放流種苗の分布、成長および個体数変動

1989年から1991年に鳥取県泊村地先に放流した年間52万尾から75万尾のヒラメ人工種苗を対象に、放流後の分布、成長および個体数の変動を東西約5 km、水深13m以浅の調査海域に設定した定線沿いの潜水直接計数とビームトロールによる採集によって調査した。その結果、浅海域に放流したヒラメ人工種苗はわずかな日数で急激に減少することが確認された。放流後の人工種苗には水平方向や沖合への顕著な移動が認められなかったことから、急激な減耗の要因は、放流海域からの逸散ではなく、大量の減耗が生じた結果と考えられた。一方、放流海域に多く分布する天然稚魚にも季節の進行とともに大量に個体数が減少する傾向が認められた。

2. 放流種苗の摂餌状態と餌料条件

上記の調査で採集した人工種苗と天然稚魚の全長、体重（胃内容物除去）および胃内容物の測定と、調査海域に設定した調査定線におけるソリネットによるアミ類分布量の季節的変動を調査した。その結果、人工種苗の摂餌状態は天然稚魚に比べて常に悪く、放流後短期間に肥満度が低下する傾向が認められたことから、飢餓が進行していると考えられた。また、その原因として、人工種苗の放流時期が主要な餌料であるアミ類の現存量の低下した後にあたっているためと考えられた。しかし、短期間の飢餓が放流サイズの人工種苗の直接の死因にはつながる可能性は少ないことから、餌料条件の悪化に起因する飢餓の進行が被食され易さを増大して減耗につながっている可能性が推定された。一方放流海域に多く分布する天然稚魚にも季節的な餌料条件の悪化にともない飢餓が進行していると考えられた。

3. 放流種苗の被食

ヒラメ人工種苗の放流後に、調査海域に分布する魚食性魚類を潜水や刺網によって採集し、胃内容物から出現するヒラメ稚魚を調べた。同時に、調査海域における捕食魚の現存量を定線に沿った潜水について直接計数した。その結果、ヒラメ1-2歳魚、マゴチおよびスズキの胃内容物から多数のヒラメ人工種苗が出現し、その頻度は放流初期ほど顕著であった。また6月には当海域ではヒラメ1-2歳魚とマゴチの分布量が急激に増加することが明らかとなった。放流海域における分布量が極めて多いこれら2種の分布量とヒラメ人工種苗の被食量から、人工種苗の減耗要因は主にこれらの魚種による捕食であると考えられた。ただし、放流海域に多く分布するヒラメ天然稚魚では被食がほとんどなかったことから、人工種苗と天然稚魚との間には被食を回避する能力において大きな差があると推定された。

4. 人工種苗と天然稚魚の摂食行動の比較

ヒラメ1-2歳魚やマゴチのように海底に底座する待伏せ型の捕食行動をとる捕食者が存在する場合、ヒラメ稚魚にとって海底を離れて水中に浮上する摂食行動は被食の契機になることが

推定される。そこで、人工種苗と天然稚魚が主要な餌料であるアミ類を摂食するときの行動をビデオシステムを用いた水槽実験によって観察した。ヒラメ稚魚が遊泳する生きたアミ類を摂食し着底するまでの一連の摂食行動から、魚体が底面を離れている時間（離底時間）、遊泳コース、底面を離れた位置から着底した位置までの距離（離底時間）および底面から遊泳経路の最高所までの距離（遊泳高度）を測定した。その結果、人工種苗は天然稚魚に比べて、遊泳高度が低いにも関わらず離底時間が長く遊泳速度が緩慢であり、また遊泳コースには反転傾向が少なく、離着底間隔が広がり、遊泳距離が長いことが判明した。人工種苗のこのような摂食行動の特性はいずれも待伏せ型の捕食者による被食の確率を高める方向に作用すると考えられた。

5. 天然稚魚の飢餓が被食に及ぼす影響

一般に、稚魚の飢餓の進行は被食の確率を高める可能性が指摘されている。また、天然ヒラメ稚魚にも季節的に飢餓が進行している可能性が本研究で示唆された。そこで、天然稚魚の減耗要因として被食の可能性を検討するために、飢餓による摂食行動の変化を上記の水槽実験と同様の方法を用いて測定した。短期間（7日間以内）の絶食飼育をしたヒラメ稚魚の摂食行動には絶食日数にともない離底時間と遊泳距離の顕著な増加が認められた。これより天然稚魚の摂食行動も短期間の飢餓により被食の確率を高める方向に変化すると考えられた。

6. 天然稚魚の減耗実態の把握

上記放流調査海域において1994年にヒラメ天然稚魚の分布量、成長および摂食状態の季節的变化をビームトロールによって採集した稚魚を用いて調べた。同時に、アミ類の分布量をソリネットを用いて調査した。さらに、潜水、刺網および引き網釣によって採集したヒラメ1-2歳魚の胃内容物も調べた。5月下旬から6月上旬まで大量に分布していたヒラメ稚魚のうち、分布量の主体を占める小型魚が6月中旬から下旬にかけて急激に減少した。これらの個体の全長組成は沖合に移動した大型個体の全長組成には結びつかないことから、急激な減少は浅海域の育成場における減耗の結果と考えられた。また、この減少と同時期にヒラメ1-2歳魚の胃内容物からヒラメ稚魚が出現する頻度が急激に上昇したこと、小型個体の主要な餌料であるアミ類の分布量が急激に減少し、小型個体の摂餌率と肥満度が低下したことより、摂餌条件の悪化に起因する飢餓の進行が被食による大量減耗を誘発したと考えられた。以上の育成場における一連の変化から、飢餓と被食の複合による減耗過程が実証された。これより、ヒラメ人工種苗の放流は餌料条件が良く、捕食魚の分布量が少ない、より早期に行うことが有効と考えられた。

7. 資源添加効果の実証

上記の考えに基づき、1993年以降では、早期に生産した人工種苗を従来より1ヶ月早い5月中旬から下旬に放流した。その結果、放流後の摂餌状態は極めて良く、肥満度も増加傾向を示した。また、6月以降には成長した稚魚の沖合への移動が多数確認され、県内7漁協で行っている市場調査によって、従来の放流群に比べて2倍から3倍高い漁獲回収率が推定された。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、終始、適切なご指導と論文の校閲を賜った京都大学大学院農学研究科教授 田中 克博士に厚く感謝の意を表す。また、本論文の校閲をいただき、貴重なご意見を賜った同農学研究科教授 坂本 亘、林 勇夫 両博士に厚く御礼申上げる。また、本論文の作成にあたり、終始適切なご指導とご援助を頂いた水産庁西海区水産研究所 興石裕一研究室長、東北水産研究所 山下 洋博士、福井県立大学助教授 富永 修博士、アメリカ合衆国 NMFS Southeast Fisheries Science Center の J.S.Burke 博士に御礼申上げる。

本研究をまとめる機会を快く与えて頂いた鳥取県水産試験場長 謡口紀彦氏、前鳥取県農林水産部次長 谷口興治氏、ならびに参事監 石村祐輔氏に深謝する。

本研究を進めるにあたり、海域調査には渡部俊明、西田輝己、山田英明、宮永貴幸、松岡喜代治、沢富一、牟礼昇、岩崎光真の各氏をはじめとする鳥取県水産試験場職員（現在、一部、鳥取県水産課職員）の皆様にも多大なご協力を頂いた。また、人工種苗の放流および市場調査では山田幸男、桜井則広、浜田文彦の各氏をはじめとする財団法人鳥取県栽培漁業協会の皆様にも多くの便宜と貴重なご助言を頂いた。調査器具と実験施設の製作では山下亮三氏に卓越したご知見とご協力を頂いた。採集した標本の測定、水槽実験およびデータの処理では山口むつ代、藤井 緑、坂田和子、宮下恒子、宮本喜美子の各氏には多大なご協力を頂いた。ここに心から感謝する。

著者は昭和56年以来、14年間にわたり、ヒラメを主とした栽培漁業の放流技術開発の職務に携わってきました。この間、的確な示唆が少ない中、ともに鳥取県の実践現場で次の世代の漁業のために汗を流して下さった多くの漁業者の方々、また、全国の各海域で栽培漁業を実現するために体を張って努力を続けておられる多くの研究者の方々に出会い、励まされてきたことが、転任後もこの研究を続け、とりまとめる原動力となったように思います。栽培漁業の進展のために努力してこられたこれらの方々に対し、ここに深く御礼申し上げるとともに、今も全国津々浦々で努力を重ねておられる皆様のご活躍をお祈りいたします。

なお、本研究の一部は水産庁健苗育成技術開発研究費で行われた。記して謝意を表す。

引用文献

- 1) 鳥取県水産試験場(1990)：昭和60-平成元年度放流技術開発事業総括報告書，日本海ブロック・ヒラメ班。pp. 26-33.
- 2) 鳥取県栽培漁業試験場(1985)：昭和59年度放流技術開発事業報告書(ヒラメ班)，pp. 144-185.
- 3) 久野英二(1968)：個体数推定の諸方法。pp. 9-47 動物の個体群動態研究法 I，個体数推定法。共立出版。東京。
- 4) 古田晋平(1983)：ヒラメ(0才魚)採集漁具の漁獲効率。第10回日本海ブロック培養殖研究推進連絡会議議事要録，12-16.
- 5) 今林博道(1980)：生物群衆内における稚魚期および若魚期のヒラメの摂餌生態-I。個体群の種内関係 日水誌，46，427-435.
- 6) 興石裕一，野口昌之，田中邦造(1985)：外海砂浜域におけるヒラメ幼稚仔の分布と成長。昭和57，58年度近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリンランチング計画)プログレスレポート，ヒラメ・カレイ，1，11-24.
- 7) 加藤和範(1987)：新潟県北部沿岸域におけるヒラメの資源生物学的研究。I。ヒラメ幼稚魚期の分布と食性 新潟水試研報，12，27-41.
- 8) 山下 洋，山本和稔，長洞幸夫，五十嵐和昭，石川 豊，佐久間修，山田秀秋，中本直典(1993)：岩手県沿岸における放流ヒラメ種苗の被食。水産増殖，41，497-505.
- 9) 古田晋平，西田輝巳，山田英明，宮永貴幸，渡部俊明，平野誠師(1992)：鳥取県中西部砂浜域におけるヒラメ放流稚魚と天然稚魚の追跡調査結果に基づく放流技術的考察 鳥取水試報，33，61-82.
- 10) 山下 洋(1994)：被食。pp. 60-71. 中田 克・渡邊良朗編。魚類の初期減耗研究。恒星社厚生閣。東京。
- 11) 古田晋平(1991)：捕食離底時間からみたヒラメ放流用種苗の短期馴致効果。栽培技研，19，117-125.
- 12) 西田輝巳，野沢正俊，網尾 勝(1978)：鳥取県砂浜沿岸におけるアミについて-I。鳥取水試報，19，1-52.
- 13) 山田浩且，津本欣吾，藤田弘一(1989)：ヒラメ小型種苗の放流初期における飢餓状況の推定 栽培技研，17，129-133.
- 14) 反田 實(1989)：人工生産ヒラメ稚魚の飢餓耐性と体長との関係。水産増殖，37，259-265.
- 15) 田中 克(1993)：飼育魚と天然魚の比較。pp. 19-30. 北島 力編。放流魚の健苗性と育成技術。恒星社厚生閣。東京。
- 16) 野沢正俊(1974)：ヒラメ浮遊仔魚期の分布。鳥取水試報，15，1-6.
- 17) 田中 克(1988)：志々伎湾におけるヒラメ稚仔魚の分布，加入，着底および減耗について。水産土木，48，33-44.

- 18)Seikai, I , I Kinoshita, and M.Ianaka(1993) : Predation by crangonid shrimp on juvenile Japanese flounder under laboratory conditions. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 321-326.
- 19)Noiti, I , M.Kusano, I.Kanbara, and I.Senta(1993) : Predation by fishes on larval and juvenile Japanese flounder at Yanagihama Beach, Nagasaki Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 59, 1851-1855.
- 20)首藤宏幸, 池本麗子, 加藤史彦(1988) : 志々伎湾におけるヒラメ放流種苗の減耗要因. 昭和61~63年度近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリンランシング計画)・プロGRESS・レポート, ヒラメ・カレイ, 3, 167-176.
- 21)小嶋喜久雄, 花瀨靖子, 木下貴裕(1988) : ヒラメ人工種苗の放流初期生態と拡散過程. 昭和61~63年度近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリンランシング計画)・プロGRESS・レポート, ヒラメ・カレイ, 3, 17-28.
- 22)古田晋平, 渡部俊明, 山田英明, 西田輝巳, 宮永貴幸(1997) : 鳥取県沿岸浅海域に放流したヒラメ人工種苗の分布, 成長および個体数変動. 日水誌, 63, 877-885.
- 23)鳥取県栽培漁業試験場(1989) : 昭和63年度放流技術開発事業報告書, 日本海ブロック ヒラメ班, 250-294.
- 24)Bailey, K.M , and J.Yen(1983) : Predation by a carnivorous marine copepod, *Euchaeta elongata* Esterly, on eggs and larvae of the Pacific hake, *Merluccius productus*. *J. Plankton Res* 5, 71-82.
- 25)Gamble, J. C. , and S. J Hay(1989) : Predation by the scyphomedusan *Aurelia aurita* on herring larvae in large enclosures: Effects of predator size and prey starvation, *Rapp. P -v Reun, Cons int Explor, Mer*, 191, 366-375
- 26)古田晋平(1995) : 対捕食者行動の解発. 平成6年度健苗育成技術開発研究の成果の概要, 水産庁研究部研究課, 117-128.
- 27)浜中雄一 栄 健次 竹野巧壘 今泉 均(1990) : ヒラメの小型種苗の摂餌能力と放流サイズ, 場所について 日本海ブロック試験研究収録, 19, 67-72.
- 28)古田晋平, 渡部俊明, 山田英明, 宮永貴幸(1997) : 鳥取県沿岸域に放流したヒラメ稚魚の摂餌状態と餌料条件. 日水誌, 63, 886-891.
- 29)古田晋平(1988) : ヒラメ人工種苗の短期馴致効果の検討. 日本海ブロック試験研究収録, 13, 61-72.
- 30)篠田正俊(1974) : ヒラメの年令と成長について. 鳥取県水試報, 15, 80-87.
- 31)最首光三(1957) : 東海・黄海における底魚資源の研究(4). 西海区水産研究所, 1-111.
- 32)落合 明, 田中 克(1986) : 新版魚類学(下). pp. 675-681 恒星社厚生閣. 東京.
- 33)梨田一也, 富永 修, 宮島英雄, 伊藤光郎(1984) : 新潟県北部沿岸域における底生魚類の群集構造 I ヒラメ若令魚の日間摂餌量の推定. 日水研報告, 34, 1-17.
- 34)興石裕一, 中西 孝, 赤峰達郎, 田中邦造, 長沼典子(1982) : ヒラメ増殖上の諸問題に関する基礎的研究 III ヒラメ0才魚の摂餌日周期性. 日水研報告, 39, 67-80

- 35)小嶋喜久夫, 土門 隆, 花淵靖子, 木下貴裕(1986):油谷湾におけるヒラメ放流種苗の馴化過程. 昭和59・60年度近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリーナランディング計画) プログレスレポート, ヒラメ・カレイ, **2**, 47-56.
- 36)古田晋平(1993):放流技術と健苗性. pp. 94-101. 北島 力編. 放流魚の健苗性と育成技術 恒星社厚生閣. 東京.
- 37)古田晋平(1994):ヒラメ人工種苗の夜間の被捕食 日本海ブロック試験研究収録, **30**, 43-51.
- 38)古田晋平, 渡部俊明, 山田英明(1998):鳥取県沿岸浅海域に放流したヒラメ人工種苗の被食. 日水誌, **64**, 1-7.
- 39)奥野忠一(1980):応用統計ハンドブック. pp. 36-59. 養賢堂. 東京
- 40)Y.Hanamura(1997):Review of the taxonomy and biogeography of shallow-water mysids of the genus *Archaeomysis* (Crustacea; Mysidacea) in the North Pacific Ocean. *Journal of Natural History*. **31**, 669-711.
- 41)佐原雄二(1987):捕食リスクの問題 pp. 90-96. 魚の採餌行動 東京大学出版会. 東京.
- 42)Janaka, M , I.Ohokawa, I Maeda, I Kinoshita, I.Seikai, and M Nishida(1997): Ecological diversities and stock structure of the flounder in the Sea of Japan in relation to stock enhancement. *Bull Natl. Res Inst. Aquacult, Suppl.* 3:77-85
- 43)安達二郎(1989):鳥根県中部海域におけるヒラメ着底稚魚数の理論的推定 鳥根水試研報, **6**, 60-88.
- 44)Furuta, S. (1996):Predation on juvenile Japanese flounder, *Pararichthys olivaceus*, by diurnal piscivorous fish:Field observations and laboratory experiments. pp. 285-294. ed by Y Watanabe et al Survival Strategies in Early Life Stages of Marine Resources A. A. Balkema, Rotterdam.
- 45)興石裕一(1994):九州西岸および日本海域におけるヒラメ pp. 134-148. 田中 克, 渡邊良朗編. 魚類の初期減耗研究. 恒星社厚生閣. 東京.
- 46)古田晋平(1998):ヒラメ人工種苗と天然稚魚の摂食行動の比較 日水誌, **64**, 393-397
- 47)塚本勝巳(1997):群行動の解発(ヒラメ種苗の行動と健苗育成) 平成7年度健苗育成技術開発研究成果の概要, 水産庁研究部研究課, 195-203.
- 48)首藤宏幸, 後藤常夫, 池本麗子, 富山 実, 畔田正格(1992):志々伎湾におけるヒラメ放流種苗の減耗課程. 西水研研報, **70**, 29-37.
- 49)西田輝巳, 野沢正俊, 網尾 勝(1978):鳥取県砂浜沿岸域におけるアミについて-I. 鳥取水試報告, **19**, 1-52.
- 50)興石裕一, 野口昌之, 田中邦造(1985):外海砂浜域におけるヒラメ幼稚魚の分布と成長 昭和57, 58年度近海漁業資源の家魚化システムの開発に関する総合研究(マリーナランディング計画) プログレスレポート, ヒラメ・カレイ, **1**, 11-24
- 51)尾形哲男, 野沢正俊(1975):鳥取県沿岸域におけるヒラメ資源量の推定. 日水研報告, **26**, 17-25.

- 52) 赤嶺達郎, 加藤史彦(1998): 複合正規分布のパラメーター推定. パソコンによる資源解析プログラム集, 東海区水産研究所数理統計部, 177-188.
- 53) 田中 克(1998): 志々伎湾におけるヒラメ稚仔魚の着底減耗について. マリーナランチング計画, プログレスレポート, ヒラメ・カレイ, 3, 1-16.
- 54) 古田晋平(1998): ヒラメ天然稚魚の摂食行動および被食におよぼす飢餓の影響. 日水誌, 64, 658-664.
- 55) 梶川 晃(1974): 発育段階別の食性. 鳥取水試報告, 15, 25-33.
- 56) 新潟水試(1990): 放流効果. 昭和60年度~平成元年度放流技術開発事業総括報告書, 日本海ブロック・ヒラメ班, 52-59.
- 57) 南 卓志(1986): 日本産カレイ目魚類幼稚仔魚の被食事例. 日本海区水産研究所報告, 36, 39-47.
- 58) 鳥取県水産試験場(1995): 平成2~6年度放流技術開発事業総括報告書資料編, 日本海ブロック・ヒラメ班, 1-42.
- 59) 古田晋平(印刷中): 鳥取県沿岸浅海域におけるヒラメ当歳魚の分布量, 全長組成, 摂餌状態および被食状態の季節的变化. 日水誌.
- 60) 浜田史彦, 浜川秀夫(1995): ヒラメ栽培漁業事業化促進事業. 平成6年度鳥取県水産試験場年報, 214-216.
- 61) 浜田史彦, 浜中秀夫(1997): ヒラメ栽培漁業事業化促進事業. 平成8年度栽培漁業協会年報, 23-25.