

三陸大野湾におけるヒラメ稚魚の最適放流量の推定

山下 洋^{*1}・栗田 豊^{*2}・山田秀秋^{*3}・高橋一生^{*2}

Estimate of optimum stocking density of hatchery-raised Japanese flounder juveniles in Ohno Bay, Northeastern Japan

Yoh YAMASHITA^{*1}, Yutaka KURITA^{*2}, Hideaki YAMADA^{*3}
and Kazutaka TAKAHASHI^{*2}

Abstract In order to estimate the surplus productivity of nursery grounds available for stocked fish, we developed a sub-population growth model for juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*. Using this model, we predicted the optimum stocking density above which release of hatchery-raised juvenile flounder would restrict the growth of conspecific wild juveniles as food availability will begin to limit sub-population production. The optimum stocking density for 8.5 cm TL flounder was estimated to be zero in Ohno Bay 1990 and 17,000 individuals per 250,000 m² in 1991. This indicates there was no surplus productivity for stocking of hatchery-raised flounder juveniles in the case of Ohno Bay 1990. The most important factors to affect optimum stocking density of flounder were the abundance of mysids and wild flounder juveniles at the time of release. The difference in the optimum stocking density between 1990 and 1991 was thought to be caused by those in wild flounder density (19.8 inds/1,000 m² in 1990 and 6.8 inds/1,000 m² in 1991) and in mysids abundance (177.5 mg/m² in 1990 and 393.5 mg/m² in 1991).

Key words: flounder, stock enhancement, stocking density, carrying capacity, ecophysiology model

ヒラメは栽培漁業における基幹魚種であり、1980年には既に200万尾を超える種苗が放流されている。実効ある栽培漁業を展開するためには、効率の高い放流条件を知ることが不可欠であり、最適な放流方法を開発するために多くの魚種について放流技術開発研究が行われてきた。ヒラメについてはとくに重点的な調査研究が行われ、放流時期 (Furuta, 1996)、放流サイズ (Ohkochi *et al.*, 1999; Yamashita *et al.*, 1994; 1999)、種苗性 (Furuta, 1996; 古田, 1998) などと放流効果との関係について報告されている。また、近年

は、遺伝的な多様性 (例えば, Asahida *et al.*, 2003) にとどまらず、遺伝的家系と種苗生産過程および放流後の生き残りとの関係についても明らかにされつつある (Sekino *et al.*, 2003, 2005)。これらの技術開発により、海域によっては高い放流効果も報告されているが (例えば, 藤田ら, 1993; 岩本ら, 1998; 厚地, 増田, 2004)、漁獲回収率が1%に満たない海域も多数存在する。放流技術の中で最も研究が遅れているのが環境収容力に関する研究である。環境収容力については、天然魚の発生量、餌生物の発生量、餌生物を巡る競争者

2005年11月8日受理 (Received: November 15, 2005)

*1 京都大学フィールド科学教育研究センター舞鶴水産実験所 〒625-0086 京都府舞鶴市字長浜無番地 (Maizuru Fisheries Research Station, Field Science Education and Research Center, Kyoto University, Nagahama, Maizuru, Kyoto 625-0086, Japan)

*2 東北区水産研究所 〒985-0001 宮城県塩釜市新浜町3-27-5 (Tohoku National Fisheries Research Institute, Shinbama, Shiogama, Miyagi 985-0001, Japan)

*3 西海区水産研究所石垣支所 〒907-0451 沖縄県石垣市字浮海大田148-446 (Seikai National Fisheries Research Institute Ishigaki Branch, Fukaiota, Ishigaki, Okinawa 907-0451, Japan)

の量、これらの変動に大きな影響を与える物理・化学環境の変動など関係する要因が複雑であり、これまでほとんど研究されていない。そのため、放流量は施設の種苗生産能力、従来の放流事業の結果をもとにした経験および政策的な目標などにより決定されてきた。しかし、過度の放流は放流魚と天然魚の置き換わりや他の生物への悪影響など、効果的な栽培漁業の推進を阻害するだけでなく、健全な生態系の維持という視点からも多くの弊害を引き起こす可能性が指摘されている (Blankenship and Leber, 1995; Munro and Bell, 1997; Blaxter, 2000)。著者らは水産総合研究センター栽培プロ研の中で、魚類の成長速度と環境要因との関係を調べるために開発されたエコフィジオロジーモデルをヒラメ稚魚の個体群生産モデルに組み込み、岩手県大野湾における1989年の調査結果を用いてパラメータを設定し、環境収容力を考慮した最適な放流量の推定手法を提案した。本研究では、モデルの汎用化を目指して、このモデル開発のフィールドとなった岩手県大野湾における1990年と1991年の調査結果への適用を試みた。なお、モデルの構造及びパラメータの設定方法等については、詳細な報告を準備中である (Yamashita *et al.*, in prep.)。

試料と方法

採集調査 岩手県大野湾において、1990年は9月7日から11月13日まで、91年は9月5日から11月6日まで、西水研型ソリネット（口径2m、高さ30cm、目合3mm）を用いて水深4m、8m、10mの水深帯を中心に、ヒラメ稚魚採集調査を実施した。また、広田式ソリネット（口径60cm、高さ40cm、目合0.76mm）により、同海域においてアミ類の採集調査を行った。両曳網調査とも、曳網開始点にブイを設置し測距儀（測器社製SD5D）による測定または、事前に測定したマーカー間を曳網することにより曳網距離を推定した。採集されたヒラメ稚魚は直ちに10%中性ホルマリンで固定し、研究室において放流魚と天然魚に分けて全長と体重を測定し、胃内容物を摘出した。胃内容物は実態顕微鏡下で可能な範囲まで分類し、分類群ごとに湿重量を測定した。アミ類については、採集数が100個体以下の場合には全数、それを越える場合には原則100個体を分類し、種ごとに個体数と湿重量を測定した。

ヒラメ稚魚個体群生産モデル ヒラメ稚魚個体群生産モデルの構造は、Yamashita *et al.* (in prep.) において詳述される。ヒラメ稚魚個体群生産モデルの核になるのは、ヒラメ稚魚の個体成長モデルである。本モ

デルは、魚類の成長と環境要因との関係を調べるために、アメリカ産ニベ類の一種red drum (*Sciaenops ocellatus*) とサンフィッシュ科のblue gill (*Lepomis macrochirus*) について開発されたエコフィジオロジーモデルのパラメータを、ヒラメ稚魚の成長に適合するよう調整したものである。red drumおよびblue gillのオリジナルモデルの構造については、Neill *et al.* (2004) により詳細に説明されており、モデルはインターネット上で公開され誰でも利用できる (ftp://neilllab2.tamu.edu)。個体成長モデル、個体群生産モデルともに、モデリング用のソフトウェアであるSTELLAを用いて作製された。

本研究では、基本的な条件となる対象海域（大野湾500m×500m）、ヒラメ稚魚の日間死亡率（天然魚2.8%、放流魚4.6%）、競争者であるアラメガレイ (*Tarphops oligolepis*) の量（当歳魚5,450個体、1歳以上1,575個体）を1989年と同じに設定した。摂餌に関しては、稚魚はアミ類の分布量に対応してそれを摂餌するが、魚類についてはヒラメ稚魚の最大日間摂餌量に対して常に一定の割合で摂餌することとした。大きく異なる条件は、推定期間をヒラメ稚魚放流直後の最初の調査から30日間（90年は、9月7日～10月6日、91年は9月5日～10月4日）としたことである。また、天然ヒラメの初期値としては、90年は9月7日、91年は9月5日の調査における天然ヒラメ稚魚の密度と平均全長および平均体重を、アミ類分布量の初期値としては、90年は8月21日と9月7日、91年は8月27日と9月5日の水深4mと8mにおける単位面積当たり平均アミ類量 (mg/m²) を用いた。モデルの水温には、調査時に測定した水温の平均値（90年20.5℃、91年19.5℃）をインプットした。

ヒラメ稚魚個体群生産モデルでは、上記の生物・非生物環境条件を入力して、天然魚および放流魚の30日後の体重を予測することができる。ここで、放流種苗の放流時のサイズを全長8.5cm、体重4.5gと仮定した。実際には大野湾において1990年には種苗34,900尾、1991年には73,400尾が放流されている。しかし、本研究は、ある時点での天然稚魚着底密度とアミ類の分布量から最適放流量を求めることが目的であり、実際の放流量は考慮しない。稚魚個体群生産モデルでは、STELLAの感度分析機能を用いて、放流数を1,000尾単位で0尾から200,000尾まで増加させ、各放流数での天然ヒラメ稚魚の30日後の体重を予測した。栽培漁業の最も重要な基本理念は、放流種苗は余剰生産力を利用し天然同種の成長と生残に影響を与えないことである。本研究ではこの理念に従って、ヒラメ天然稚魚の成長に影響を与えない最大の放流量を最適放流量とする。

結 果

90年9月7日, 91年9月5日の調査における天然ヒラメ稚魚密度と平均体重は, それぞれ19.8 個体/1,000 m², 2.19g (全長6.1cm), 6.7個体/1,000m², 2.52g (全長6.4cm)であった。アミ類の採集量は採集時ごとに大きく変動したが, 91年8月5日の調査を除いては *Acanthomysis mitsukurii*が卓越した (Table 1)。91年8月5日にのみ *Archaeomysis* spp.の大量出現が認められた。初期値としてモデルに用いたアミ類量は, 90年177.5 mg/m², 91年393.5 mg/m²であった。また, ヒラメ稚魚は, 両年ともに9月にはアミ類を専食したが, 10月, 11月には魚類の割合が高くなった (Fig. 1)。

上記の条件下でモデルを走らせ放流数を変化させた。90年には, 30日後のヒラメ天然稚魚の体重が放流ゼロの場合14.5gと推定されたが (Fig. 2), 水温20.5°Cで予測される最大成長の場合には30日後には16.4gに達することがモデルから予測された。すなわち, 放流が全く行われない場合でも, 餌不足により最大成長には達しないことが示された。91年の30日後の予測体重は17.6gであり, これは水温19.5°Cから予測される最大体重と一致した。放流数を増加させた場合に, 18,000尾から天然稚魚の成長が減少し始めたことから, 91年の最適放流数は17,000尾と判断された (Fig. 2)。また, 5%程度の天然魚の成長減少までは許容できると仮定すると, 90年のゼロ放流での予測体重 (14.5g)は, 16.4gの95%である15.6gを下回っており, やはり放流の余地はない。91年の最大成長の95%は16.7gであり, 天然稚魚の成長に対する5%の影響を許容した場合の放流可能数は26,000尾となった。

放流数をゼロとし, アミ類量を変化させて感度解析を行い, どの程度のアミ類量において放流余地 (余剰生産力) が発生するかを分析した。その結果, 90年には312mg/m², 91年では107mg/m²から余剰生産力が生まれることが予測された。

考 察

本研究におけるシミュレーションにより, 余剰生産力の範囲内でヒラメ種苗を放流するという条件で最適放流量を求めたところ, 90年には種苗を放流する余地はなく, 91年には厳密な基準では17,000尾, 天然魚の成長に対する5%までの影響を認める条件では, 26,000尾を放流できるという結果となった。Yamashita *et al.* (in prep.)によると, 本モデルによる最適放流量の推定値に最も大きな影響を与える要因は, アミ類分布量と天然稚魚密度である。90年と91年を比較する

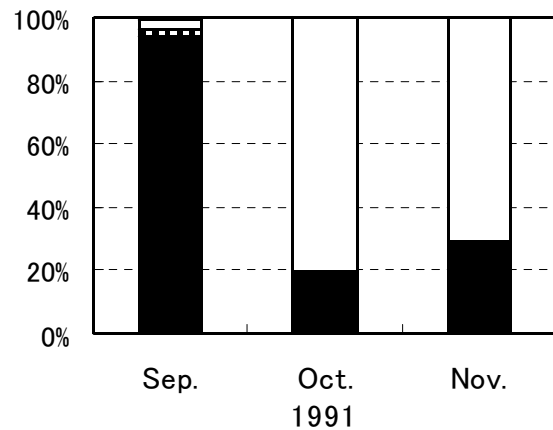
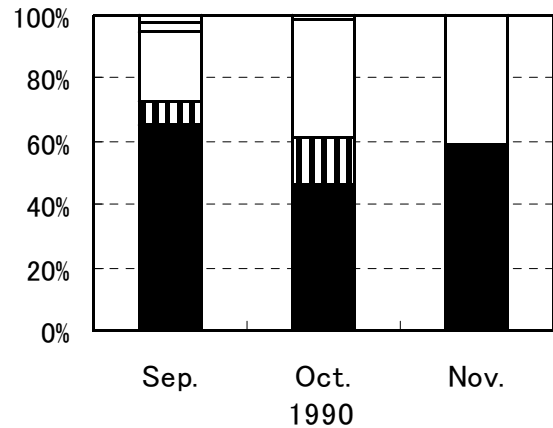


Fig. 1. Feeding habit of wild flounder juveniles. Closed bars, mysids; vertical striped bars, shrimp; open bars, fishes; horizontal striped bars, the others.

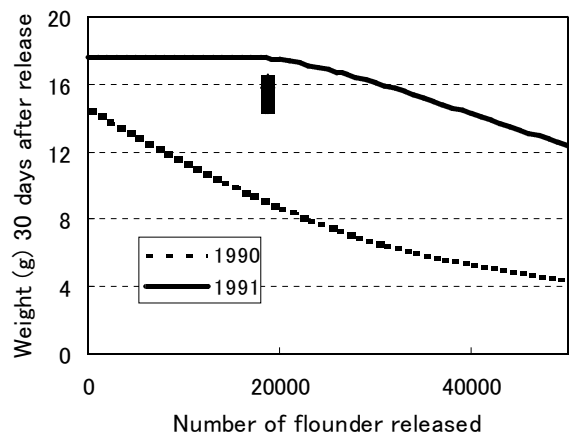


Fig. 2. The relationship between the number of flounder released and predicted growth of wild flounder juveniles 30 days after release. An arrow indicates the appropriate number of hatchery-raised juveniles for stocking (17,000 individuals) in 1991.

と、91年の方が天然稚魚密度が低くアミ類分布量が多い。91年に余剰生産力が大きかった主要な要因は、この二つと考えることができる。とくに、モデルの感度解析で放流量をゼロとしアミ類量を変化させた時に、放流余地が生まれるアミ類量は90年には312mg/m²、91年では107mg/m²であり、着底成育場に加える天然稚魚の密度が重要な要因となることがわかる。Fujii and Noguchi (1996)は、アミ類密度が100個体/m²を越えると、稚魚の成長速度が最大値に近くなることを報告しているが、この場合にも天然稚魚の着底密度は稚魚の成長速度の決定において無視できない影響要因となることが考えられる。一方、大野湾ではアミ類量も大きく変動した (Table 1)。例えば90年には、モデルに初期値として用いた9月7日まではアミ類量が低めであったが、9月11日から10月4日まで、480mg/m²から1000mg/m²という極めて高い密度で推移しており、このアミ類量をモデルに入ればかなりの放流余地があることが明確である。アミ類量の季節変動には、実際の変動とサンプリング誤差の両方が含まれている。最適放流量の予測精度を上げるためには、アミ類の分布と出現特性に対応した適切な時空間での調査を行うことにより、できるだけサンプリング誤差を減らす努力が必要である。

天然稚魚着底密度およびアミ類量以外の変動要因も多数存在する。東北太平洋沿岸域におけるヒラメの産卵期や着底期稚魚の出現期は年によってかなり異なり (栗田豊, 未発表), 同じ時期であっても稚魚の大きさには年変動が存在する。また、アミ類に対する競争者についても、本モデルではアラメガレイだけを取りあげているが、他の海域ではそのほかにも多くの種がアミ類を巡ってヒラメ稚魚と競合関係にあることが考えられ (例えば, Yamamoto and Tominaga, 2005), モデルの構造はさらに複雑にならざるを得ない。また、ヒラメ稚魚の食性は他の多くの沿岸性魚種と比較すると単純であり、着底後の初期にはアミ類を専食し徐々

に魚食性へ転換することから (例えば, 山田ら, 1998), 他の魚種と比較するとモデル化には適した種類といえる。しかし、主要な魚類餌料であるカタクチイシやイカナゴなどは、群れで移動しヒラメの成育場に偶発的に来遊することから、魚類に対する摂餌を時系列でモデルに組み込むことは難しい。本研究では、実際の魚類摂餌割合をもとに、ヒラメ稚魚が90年は常に最大日間摂餌量の24.6%, 91年は23.6%を一律に摂餌するとして計算した。この割合は、大野湾における89年の19% (Yamashita *et al.*, in prep.) と比較的近い値になった。

本研究により、比較的生産力が高いと考えられる北日本のヒラメ成育場においても (田中ら, 2006), 年あるいは条件によっては放流種苗を支える余剰生産力がない場合のあることが示唆された。近年、ヒラメ種苗放流の事業化により、1ヵ所に10万尾を越える種苗放流も珍しくない。しかし、放流量は十分な科学的根拠を持たずに決められることが多く、環境収容力を越えた過剰放流が各地で行われている可能性が危惧される。ヒラメにとどまらず全ての栽培漁業対象種について、環境収容力に対応した放流量を決定するための手法の開発が急務である。

文 献

- Asahida T., Shinotsuka Y., Yamashita Y., Saitoh K., Hayashizaki K., and Ida H., 2003: Influence of hatchery protocols on mitochondrial DNA variation in Japanese flounder juveniles. *J. World Aquacult. Soc.*, **34**, 121-132.
- Blankenship H. L. and Leber K. M., 1995: A responsible approach to marine stock enhancement. *Amer. Fish. Soc. Symp.*, **15**, 167-175.
- Blaxter J. H. S., 2000: The enhancement of marine fish stocks. *Adv. Mar. Biol.*, **38**, 1-54.

Table 1. Average density (mg/m²) of mysids collected at 4 m and 8 m in depths at Ohno Bay.

1990			1991				
	<i>A.mitsukurii</i>	Others	Total		<i>A.mitsukurii</i>	Others	Total
Aug.21	168.4	112.9	281.3	Aug.5	0.7	1203.1	1203.8
Sep.7	48.5	25.1	73.6	Aug.27	81.1	1.9	83.0
Sep.11	433.0	47.0	480.0	Sep.5	673.1	30.9	704.0
Sep.13	468.3	30.1	498.4	Oct.15	264.8	100.6	365.4
Sep.25	581.1	123.4	704.5	Nov.6	247.4	29.9	277.3
Oct.4	846.8	199.6	1046.4				
Nov.13	177.4	74.7	252.1				

- Fujii T. and Noguchi M., 1996: Feeding and growth of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) in the nursery ground, in "Survival Strategies in Early Life Stages of Marine Resources" (ed. by Watanabe Y., Yamashita Y. and Oozeki Y.), A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 141-151.
- 藤田恒雄, 水野拓治, 根本芳春, 1993: 福島県におけるヒラメ人工種苗の放流効果について. 栽培技研, **22**, 67-73.
- Furuta S., 1996: Predation on juvenile Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) by diurnal piscivorous fish: Field observations and laboratory experiments, in "Survival Strategies in Early Life Stages of Marine Resources" (ed. by Watanabe Y., Yamashita Y. and Oozeki Y.), A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 285-294.
- 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.
- 岩本明雄, 大河内裕之, 津崎龍雄, 福永辰広, 北田修一, 1998: 魚市場の全体調査に基づく宮古湾のヒラメ種苗放流効果の推定. **64**, 830-840.
- Munro J. L. and Bell J. D., 1997: Enhancement of marine fisheries resources. *Rev. Fish. Sci.*, **5**, 185-222.
- Neill W. H., Brandes T. S., Burke B. J., Craig S. R., Dimichele L. V., Duchon K., Edwards R. E., Fontaine L. P., Gatlin D. M., Hutchins C., Miller J. M., Ponwith B. J., Stahl C. J., Tomasso J. R., and Vega R. R., 2004: Ecophys.Fish: A simulation model of fish growth in time-varying environmental regimes. *Rev. Fish. Sci.*, **12**, 233-288.
- Okouchi H., Kitada S., Tsuzaki T., Fukunaga T. and Iwamoto A., 1999: Numbers of returns and economic return rates of hatchery-released flounder *Paralichthys olivaceus* in Miyako Bay - evaluation by fish market census, in "Stock Enhancement and Sea Ranching" (ed. by Howell B. R., Moksness E. and Svasand T.), Fishing News Books, Oxford, pp. 573-582.
- Sekino M., Saitoh K., Yamada T., Kumagai A., Hara M., and Yamashita Y., 2003: Microsatellite-based pedigree tracing in a Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* hatchery strain: implications for hatchery management related to stock enhancement program. *Aquaculture*, **221**, 255-263.
- Sekino M., Saitoh K., Yamada T., Hara M. and Yamashita Y., 2005: Genetic tagging of released Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) based on polymorphic DNA markers. *Aquaculture*, **244**, 49-61.
- 田中庸介, 大河俊之, 山下 洋, 田中 克, 2006: ヒラメ *Paralichthys olivaceus* 稚魚の餌料環境と摂餌生態にみられる地域的多様性. 日水誌, **72**, 50-57.
- 山田秀秋, 佐藤啓一, 長洞幸夫, 熊谷厚志, 山下 洋, 1998: 東北太平洋沿岸域におけるヒラメの摂餌生態. 日水誌, **64**, 249-258.
- Yamamoto M. and Tominaga O., 2005: Feeding ecology of dominant demersal fish species, *Favonigobius gymnauchen*, *Repomucenus* spp. and *Tarphops oligolepis*, at a sandy beach in the Seto Inland Sea, Japan. *Fish. Sci.*, **71**, 1332-1340.
- Yamashita Y., Nagahora S., Yamada H., and Kitagawa D., 1994: Effects of release size on survival and growth of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in coastal waters off Iwate Prefecture, northeastern Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **105**, 269-276.
- Yamashita Y. and Yamada H., 1999: Release strategy for Japanese flounder fry in stock enhancement programmes, in "Stock Enhancement and Sea Ranching" (ed. by Howell B. R., Moksness E. and Svasand T.), Fishing News Books, Oxford, pp., 191-204.
- Yamashita Y., Kurita Y., Yamada H., Neill W.H. and Miller J.M. Optimum stocking density of cultured juvenile flounder *Paralichthys olivaceus* for stock enhancement in Japanese waters in relation to habitat carrying capacity. in prep.