

エコフィジオロジーモデルによるヒラメ稚魚成育場機能の
南北間比較

15580164

平成15年度～平成17年度科学研究費補助金
(基盤研究(C)(2)) 研究成果報告書

平成18年5月

研究代表者 山下 洋

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 教授

我が国は南北に長いことから、沿岸域の環境は緯度に対応して大きく変化する。九州から北海道までの沿岸域に広く分布する温帯性魚類は、同一種内においても異なった環境条件に適応して多様な生活を営んでいると考えられる。この様な同種内での生理生態的な海域差は個体群の動態にも反映され、資源の変動様式が北日本と南日本の海域間で異なる可能性が示唆されている。ヒラメは九州から北海道まで広域に分布する温帯性沿岸種であり、異体類の中では最も重要な漁業資源である。本研究では、異体類の代表種であるヒラメについて、資源変動様式の南北差の把握とそのメカニズムの解明を目指した。

ヒラメ漁獲量の年変動には、北日本の県間、南日本の県間ではそれぞれ類似した傾向がみられたが、北日本と南日本を較べると変動の周期と特性は大きく異なり、資源の変動様式が北日本と南日本で異なることが示された。南日本の稚魚密度は北日本沿岸域の5~10倍高いが、漁獲量に南北差はない。このことは、産卵親魚量や資源水準に南北差はなく、北日本では浮遊期の減耗が、南日本では着底後の減耗が大きいことを示している。着底稚魚の主要な餌生物であるアミ類の密度は、北日本において高く高密度期が長い傾向が認められた。採集されたヒラメ稚魚の胃内容物量とアミ類の分布密度の間には有意な正の相関関係が認められ、北日本で稚魚の栄養状態がよいことが示唆された。フィールドで採集されたヒラメ天然稚魚の成長速度は、北日本で採集された稚魚の方が南日本の稚魚よりも高い傾向が明瞭であった。

資源変動における特性と生態的な特性の海域差を総合して次の仮説を立てた。北日本では浮遊期の生き残りにより年級群水準が決定され、着底後は、安定して豊富なアミ類を摂餌し、成長も良好で年級群水準に影響する大きな減耗は生じない。一方、南日本では、浮遊期の生き残りは比較的安定しているが、着底後のとくに底生期初期に、餌不足により大きな減耗が発生している可能性が考えられる。次のステップとして、ヒラメ資源の増大と安定化の方策として実施されている種苗放流の効果について、その南北差を検討した。ヒラメ成育場の環境、ヒラメ稚魚の生態特性、ヒラメをめぐる生物生産構造をエコフィジオロジーモデルに組み込むことにより、ヒラメ稚魚に対する成育場の生産力を推定した。この結果をもとに、栽培漁業における適正なヒラメ種苗放流数を算出し、緯度の異なる海域間で比較分析した。

まず、北アメリカ南東部沿岸域に生息する red drum (*Sciaenops ocellatus*) 稚魚の個体成長に対する環境要因の影響を分析するために開発されたエコフィジオロジーモデルについて、ヒラメ稚魚の成長に適用できるようパラメータのチューニングを行った。

次に、個体成長のモデルを核としてヒラメ稚魚の個体群成長モデルを作成し、岩手県大野湾における1989年の調査データに適合させチューニングを行った。個体群成長モデルの作成に際しては、ヒラメ稚魚の主要な餌料生物であるアミ類の生産生態を明らかにし、主要なコンパートメントとしてモデルに導入した。本個体群成長モデルを用いて、大野湾のほか、比較的詳細なデータが利用できた宮古湾、仙台湾、若狭湾、日本海西部海域において、大野湾と同じサイズの種苗を放流した場合の適正な放流数を推定した。この結果、適正放流数は北日本で多く、種苗放流のための余剰生産力は北日本の成育場において高い傾向が明瞭であった。着底後の天然稚魚の生残が、北日本で安定し南日本で不安定な可能性を示したが、本モデルによる成育場の環境収容力評価結果は、この仮説を強く支持した。また、また、本モデルによりヒラメ稚魚個体群に対する放流場の余剰生産力の推定が可能となり、栽培漁業の技術体系の中で最も困難とされる適正な種苗放流量の決定手法開発への展開が可能となった。

研究組織

研究代表者：山下 洋（京都大学フィールド科学教育研究センター教授）

研究分担者：高橋一生（水産総合研究センター東北区水産研究所研究員）

研究協力者：栗田 豊（水産総合研究センター東北区水産研究所研究室長）

研究協力者：上原伸二（水産総合研究センター東北区水産研究所主任研究員）

交付決定額（配分額）

（金額単位：千円）

	直接経費	間接経費	合計
平成15年度	1,600	0	1,600
平成16年度	1,000	0	1,000
平成17年度	1,000	0	1,000
総計	3,600	0	3,600

研究発表

(1) 学会誌等

山下 洋, 栗田 豊 (2004) 異体類の成育場における成長と生残に及ぼす環境要因の影響. 東北底魚研究, 24, 31-49.

Takahashi, K., T. Hirose, N. Azuma and K. Kawaguchi (2004) Diel and intraspecific variation of vulnerability in the beach mysid, *Archaeomysis kokuboi* to fish predators. *Crustaceana*, 77, 717-725.

Takahashi, K. and K. Kawaguchi (2004) Reproductive biology of the intertidal and infralittoral mysids, *Archaeomysis kokuboi* and *A. japonica* on a sandy beach in Northeastern Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 283, 219-231.

Bolasina, S.N., A.N. Perez and Y. Yamashita (2006) Digestive enzymes during ontogenetic development and effect of starvation in Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 252, 503-515.

田中庸介, 大川俊之, 山下 洋, 田中 克 (2006) ヒラメ *Paralichthys olivaceus* 稚魚の食物組成と摂餌強度に見られる地域性. 日本水産学会誌, 72, 50-57.

山下 洋, 栗田 豊, 山田秀秋, 高橋一生 (2006) 三陸大野湾におけるヒラメ稚魚の最適放流量の推定. 水産総合研究センター研究報告, 別冊 5, 169-173. (印刷中)

(2) 口頭発表

高木建司, 田中庸介, 富永 修, 山下 洋, 田中 克 (2003) : 成育場によるヒラメ稚魚の成長差の解析. 平成15年度日本水産学会講演要旨集, 84.

Yamashita, Y. (2004) The role of river mouth estuarine as nursery grounds of juvenile flounder. Proceedings of the First EAFES International Congress, Mokpo Korea (Oct. 20-24), 217.

Yamashita, Y. and Y. Kurita (2004) An appropriate stocking size of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*, in consideration of carrying capacity. The 33rd UJNR Aquaculture panel symposium "Ecosystem and carrying capacity of aquaculture ground for the sustainable aquaculture in harmony with nature". Abstract, 12.

Ohshima, M. and Y. Yamashita (2004) Feeding habits of flatfish pelagic larvae. The 1st International Symposium of Entomological Science COE "Development and Metamorphosis", Kyoto, Abstract, 24.

山下 洋, 栗田 豊, J. M. Miller (2005) ヒラメ成育場の生産力から推定した種苗最適放流量とその地域差. 平成 17 年度日本水産学会大会要旨集, 34.

Yamashita, Y., Y. Kurita and J.M. Miller (2005) Latitudinal variation in the carrying capacity of nursery grounds for juvenile Japanese flounder in relation to appropriate stocking densities in stock enhancement programs. 29th Annual Larval Fish Conference, Barcelona, Abstract, 105.

Ohshima, M., R. Kato, R. Masuda, S. Kimura and Y. Yamashita (2005) Effect of oceanic turbulence on survival and feeding success of Japanese flounder larvae. Sixth International Symposium on Flatfish Ecology (Book of Abstracts), Maizuru, S2P03.

Uehara, S., Y. Kurita, T. Tomiyama, Y. Yamada, Y. Fujinami and Y. Yamashita (2005) Growth variation of juvenile Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* on nursery grounds along the Pacific coast of Tohoku, northern Japan. Sixth International Symposium on Flatfish Ecology (Book of Abstracts), Maizuru, S3O08.

Yamada, T., Y. Kurita, and Y. Yamashita (2005) Utilization of shallow nursery grounds by juvenile wild and released Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*, in Miyako Bay, northeastern Japan. Sixth International Symposium on Flatfish Ecology (Book of Abstracts), Maizuru, S4P23.

Bolasina, S., A. Pérez and Y. Yamashita (2005) Effect of starvation on trypsin and lipase activities in Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*, larvae and juveniles. The World Aquaculture Society Meeting 2005, Jakarta.

Bolasina, S.N., M. Tagawa and Y. Yamashita (2005) Effect of stocking density on growth, cortisol level, digestive enzyme activity in larvae and juveniles of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. Sixth International Symposium on Flatfish Ecology (Book of Abstracts), Maizuru, S5O03.

大嶋真謙, 上原伸二, 栗田 豊, 米田道夫, 富永 修, 上野正博, 山下 洋 (2006) 仙台湾におけるヒラメ浮遊仔魚の成長. 平成 18 年度日本水産学会大会要旨集, 52.

上原伸二, 栗田 豊, 米田道夫, 大嶋真謙, 山下 洋, 岩瀬成知, 林崎健一 (2006) 東北太平洋沿岸域におけるヒラメ浮遊仔魚の分布. 平成 18 年度日本水産学会大会要旨集,

(3) 出版物

山下 洋, 田中庸介, 田中 克 (2004) ヒラメの初期生態と資源変動様式の南北差. 月刊海洋, 36(10), 766-770.

高橋一生 (2004) 淡水・沿岸域におけるアミ類の摂餌生態(総説). 日本プランクトン学会誌, 51, 46-72.

山下 洋 (2005) 異体類の加入量変動. 海洋生命系のダイナミクスシリーズ第4巻, 海の生物資源, 東海大学出版会, 272-285.

Howell B.R. and Y. Yamashita (2005) Aquaculture and stock enhancement. In R.N. Gibson (ed), 「Flatfishes - Biology and Exploitation -」、Blackwell Publishing, 347-371.

目次

1. 緒言	6
2. 浮遊期仔魚と着底稚魚の密度変化と成長速度の推定	7
3. 着底稚魚成育場の稚魚密度、餌生物量、摂餌状態の南北比較	10
4. ヒラメの主要餌料であるアミ類の生産生態の解明	18
5. エコフィジオロジーモデルの開発とフィールドへの適用	43

1. 緒言

ヒラメは北海道西部海域から鹿児島県までのほぼ日本全域に広く分布する温帯性異体類の代表種であるが、仔稚魚の出現期や成育環境は緯度により大きく異なる。また、資源変動の様式には南北間で明瞭な違いが認められ、北日本では数年間隔で卓越年級群が出現するのに対して、南西日本では漁獲量に長周期の変動性が認められる。さらに、南西日本の稚魚密度は北日本の稚魚密度の5-10倍(Tanaka et al., 1997)であるにもかかわらず、漁獲量には明瞭な差がない。これらのことは、我が国の北と南でヒラメの資源変動機構が異なることを示唆している(表1)。

表1. ヒラメ資源変動機構の南北比較

	緯度	南西日本	北日本
現象	年級群変動	長周期	卓越年級群
	着底期稚魚密度	高い	低い
	漁獲量水準	南北間に明瞭な差なし	
仮説	* 稚魚成育場生産力	不安定	安定
	* 稚魚生産規定要因	餌生物量	水温 (餌生物は十分)
	稚魚期の生残様式	密度依存	密度独立
	年級群形成期	浮遊期-底生稚魚期	浮遊期

* 稚魚成育場機能に係わる要因 (本文参照)

本研究では、以下の仮説をたてる。北日本ではヒラメ年級群の資源水準は基本的には浮遊期の生残により決定される。着底後の稚魚成育場には十分な生産力があり、稚魚期の生残、成長は密度独立的に安定しており、浮遊期に形成された卓越的な新規加入群が着底後も維持される。一方、南西日本では成育場の生産力が不安定なために着底後の減耗は大きく、浮遊期に形成された新規加入量水準の年較差は、着底後の密度依存的な調節過程により圧縮され、なだらかな年変動性を示す。この仮説を稚魚成育場機能(表1の*印)の比較という視点から検証する。成育場機能の比較にはエコフィジオロジーモデルを適用する。本モデルは物理・化学・生物的環境要因が個体や個体群の成長、生産に与える影響を、生理生態的なメカニズムに沿って数値的にモデル化したものである(Yamashita et al., 2001, Neill et al., 2004)。北日本および南西日本の成育場において、成育場群集と環境をモニタリングし、本モデルを通してヒラメ稚魚成育場の生産力とそれを規定する環境要因の抽出を行い、ヒラメの資源水準決定機構における着底成育場の役割およびその南北差を明らかにする。

我が国は南北に長いことから、環境は緯度に対応して大きく変化し、しかも多様性に富む。我が国に広く分布する温帯性魚類は、同一種内においても異なった環境条件に適応して多様な生活を営んでおり、その個体群動態は複雑である。緯度により同一魚種内で生理、生態特性が異なる例はよく知られているが、個体群に対する成育場の生産構造や資源変動機構にまで掘り下げた研究例はほとんどない。本研究は、フィールドデータをベースに、エコフィジオロジーモデルを用いてヒラメ稚魚個体群の生産に対する環境要因の影響を定量的に解析しようとするものである。本研究により、成育場におけるヒラメ個体群の生物生産やそれにつながる新規加入量変動を支配する要因が明らかにされ、ヒラメを代表とする底生魚類の資源変動機構に関する理解が大きく前進すると期待される。また、本モデルによりヒラメ稚魚個体群に対する放流場の余剰生産力の推定が可能であり、栽培漁業の技術体系の中で最も困難とされる適正な種苗放流量の決定手法開発(Yamashita and Yamada, 1999)への展開を図る。

2. 浮遊期仔魚と着底稚魚の密度変化と成長速度の推定

方法

南西日本の代表的な成育場として若狭湾丹後海の由良川河口沖、北日本の代表的な成育場として仙台湾を選定し、2004年、2005年に集中的な浮遊仔魚、着底稚魚調査を行った。浮遊期仔魚の採集にはORIネット(口径1.6m、目合い0.5mm)、IKMTネットを、着底稚魚採集には水工研II型ソリネット(幅2.0m、高さ0.3m、目合い3mm)を用いた。浮遊仔魚の密度は原則として濾水計により推定された濾水量により、着底稚魚密度はGPSの位置情報から推定された曳網面積により計算した。丹後海では、3月から7月まで月に2回、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所属調査船緑洋丸(18t)により、仙台湾では水産総合研究センター東北区水産研究所調査船若鷹丸(692t)により、6-8月に調査を行った。採集された仔稚魚はできるだけ船上でソーティング後、95%エタノールで固定した。採集標本を研究室に持ち帰った後、標準体長を測定し耳石(礫石)を摘出した。耳石は有機溶媒で洗浄し、マニキュアでマウントした。耳石輪紋の解析には基本的に有眼側の礫石を使用し、必要に応じてラッピングフィルムで耳石表面を研磨した。計測はラドック耳石計測システムを使用し、バイオロジカルインターセプト法(Campana, 1990)により成長履歴と成長速度を求めた。

結果と考察

若狭湾では浮遊期仔魚が3月から6月まで採集されたが、仙台湾では7、8月に限られた。これは、おそらく若狭湾では出現期の前半に若狭湾よりもさらに西方で産卵された仔魚が出現し、後半には若狭湾内で産卵された個体群の仔魚が出現するためと考えられる(前

田, 2002)。仔稚魚密度には、若狭湾と仙台湾で明瞭な傾向のちがいが認められた(表 2)。仔魚密度、稚魚密度ともに若狭湾の方が高く、仔魚密度では 3-9 倍、稚魚密度では 30-60

表 2. 若狭湾と仙台湾、2004 年、2005 年調査における浮遊仔魚と着底稚魚密度の比較

海域	採集年月	仔魚密度 (個体/1000m ³)	稚魚密度 (個体/1000m ²)	稚魚/仔魚 密度比*	若狭湾/仙台湾 密度比
若狭湾	04 年 4, 5 月	3.58		26.3	8.61 (仔魚)
	04 年 5, 6 月		94.43		58.65 (稚魚)
仙台湾	04 年 8 月	0.42		3.9	
	04 年 9, 10 月		1.61		
若狭湾	05 年 4, 5 月	8.52		18.9	3.55 (仔魚)
	05 年 6 月		160.82		32.69 (稚魚)
仙台湾	05 年 8 月	2.40		2.1	
	05 年 9, 11 月		4.92		

* 稚魚/仔魚密度比は、密度の単位が異なるために 1 以上となっているが、水柱当たりの個体数では当然のことながら稚魚の方が少ないと考えられる。

倍高かった。また、稚魚密度/仔魚密度比は、若狭湾では 19-26、仙台湾では 2-4 であり、浮遊仔魚期から着底稚魚期までの生き残りは、若狭湾の方が高いことが示された。なお、稚魚密度/仔魚密度比における稚魚密度と仔魚密度の単位は、それぞれ 1000m²と 1000m³当たり個体数であることに注意が必要である。一方、ヒラメの漁獲量は仙台湾海域の方が若狭湾海域よりも多いことから、稚魚期から漁獲加入までの生き残りは、仙台湾において高いことが示唆されている。また、2004 年と 2005 年を比較すると、2005 年の方が 2004 年よりも仔魚密度、稚魚密度とも高い傾向が、若狭湾、仙台湾の両方で認められた。仔魚密度と稚魚密度の若狭湾と仙台湾間の比較の結果は、予測されたとおりであり、緒言で述べた仮説を支持するものとなった。すなわち、北日本では浮遊期の個体数変動が大きいが、着底後の稚魚成育場には十分な生産力があり、稚魚期の生残が安定するために浮遊期に形成された新規加入群水準が着底後も維持される。一方、南西日本では浮遊期の生き残りは良好で着底直後の稚魚密度も高いが、成育場の生産力が不安定なために着底後の減耗は大きく、着底後も加入量変動につながる大きな減耗が発生することが考えられた。

耳石日輪から逆算した浮遊仔魚期の成長速度は、仙台湾では比較的安定していたが、若狭湾では採集月ごとに変動が認められた(図 1)。浮遊期仔魚の消化管内容物の組成を見ると、変態開始直前の D 期から尾虫類の割合が急増し、その後は尾虫類が主食となる。現段階で

は、仔魚期の成長速度と生残率との関係について考察できる材料はないが、浮遊期仔魚密度が西日本で高い要因として、尾虫類の密度等が関係する可能性は十分考えられる。

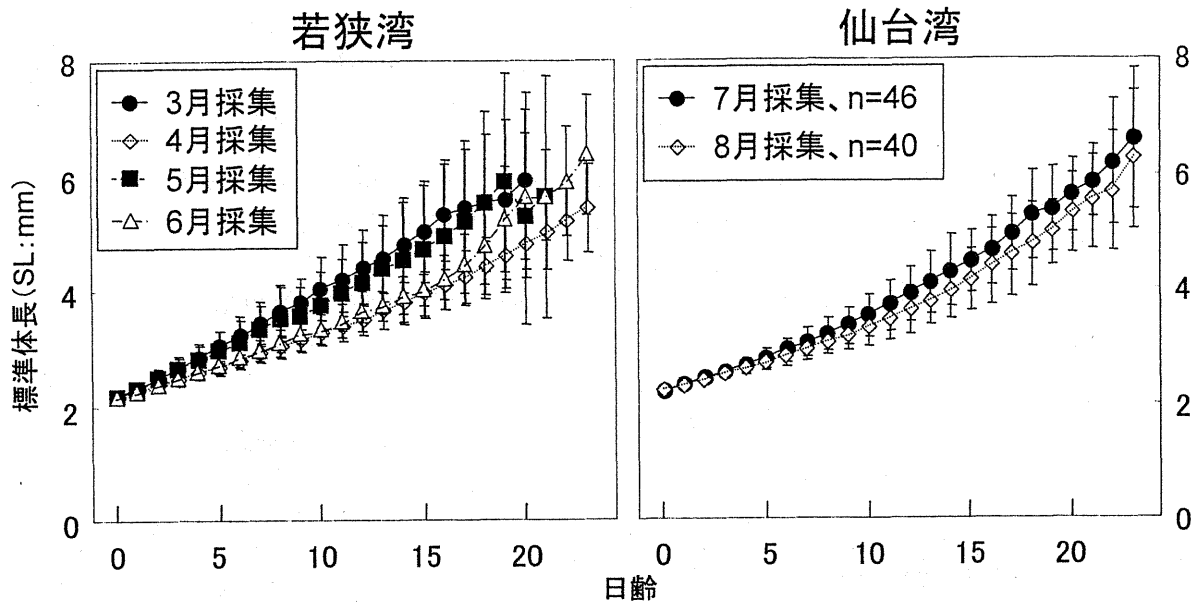


図 1. 2005 年に若狭湾と仙台湾で採集されたヒラメ浮遊期仔魚の成長速度の比較. 耳石(礫石)日輪間隔を用いた逆算体長を示す。

文献

- Campana, S.E. (1990) How reliable are growth back-calculations based on otoliths? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 2219-2227.
- 前田経雄 (2002) 若狭湾西部海域におけるヒラメ仔稚魚の加入機構に関する研究. 学位論文, 京都大学, 90.
- Neill, W.H., T.S. Brandes, B.J. Burke, S.R. Craig, L.V. Dimichele, K. Duchon, R.E. Edwards, L.P. Fontaine, D.M. Gatlin, C. Hutchins, J.M. Miller, B.J. Ponwith, C.J. Stahl, J.R. Tomasso and R.R. Vega (2004) *Ecophys.Fish: A simulation model of fish growth in time-varying environmental regimes. Rev. Fish. Sci.*, 12, 233-288.
- Tanaka, M., T. Ohkawa, T. Maeda, I. Kinoshita, T. 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.*, 3, 77-85.
- Yamashita, Y. and H. Yamada (1999) Release strategy for Japanese flounder fry in stock enhancement programmes. In: Howell BR, Moksness E, Svåsand T (eds). *Stock Enhancement and Sea Ranching. Fishing News Books, Oxford*, 191-204.
- Yamashita, Y., M. Tanaka and J.M. Miller (2001) Ecophysiology of juvenile flatfish in nursery grounds. *J. Sea Res.*, 45, 205-218.