

水産種苗の生息場形成条件に関する研究 -ヒラメ種苗の流動耐性と潜砂能力-

STUDY ON THE CONDITIONS OF MAKING HABITATS OF SEEDING
FLOW TOLERANCE AND BURROWING ABILITY OF JAPANESE FLOUNDER
Paralichthys olivaceus

瀬戸雅文¹・高谷義幸²・巻口範人³

Masabumi SETO, Yoshiyuki TAKAYA and Norito MAKIGUCHI

¹正会員 水博 北海道立中央水産試験場 水産工学室 (〒046-8555 北海道余市町浜中町 238)

²北海道立函館水産試験場室蘭支場 資源増殖部 (〒051-0013 室蘭市船見町 1-133-31)

³(社)北海道栽培漁業振興公社 調査設計第1部 (〒060-0003 札幌市中央区北3西7-1)

This study examined the conditions in order to make most suitable habitats for hatchery-reared Japanese flounder. Flounder's critical velocity of bottom-clinging was estimated almost the same the swimming velocity under steady flow, which was about the four or six times of its total body length (*TL*). The value of the coefficient of flow tolerance took from 0.2 to 0.3, and the coefficient of mass force did about 1.0. On the basis of that result, the relationship between the thrust (F_t :dyn) and *TL* was closely resembled as $F_t=15.2 \times TL^{2.73}$, and the wave conditions (H_{max} : a maximum allowance wave Height) allowed to be suited for making habitats of flounder, a wave period (*T*:second), and the depth of liberation area (*h*:m) was described as $H_{max}=23.02T^{-1.36}TL^{0.97}h$ based on the theory of micro amplitude. Further more, the maximum burrowing depth observed the tendency of gradual decrease with its body length's increase. In this experiment, no population was observed washed away in spite of the hard drift sand conditions.

Key Words : Flounder, habitat, bottom-clinging faculty, swimming velocity, drag coefficient, mass coefficient, thrust force

1. はじめに

我が国の沿岸域には、失われた水産資源の回復を目指して、毎年約90種に及ぶ魚介類の種苗が約100~200億尾放流され続けている。魚類においては、ヒラメ種苗は、広域的な栽培漁業のモデル的な対象種として、生産数、放流数ともに最も多く、毎年2400万尾余りが、水深10m前後の砂浜域を中心に放流されるとともに、稚魚の生残率向上を目指した様々なタイプの保護育成礁が考案され、全国各地の沿岸砂浜域に設置されている。しかしながら、現状における種苗の放流は、餌料が豊富で捕食者が少ない場所、および放流時期などが経験的知見をもとに選定される程度であり科学的に確立された技術は限られている。本研究は、ヒラメ種苗の放流直後の着底限界流速、遊泳耐性、さらに底質に対する潜砂能力について行動実験的手法を用いて検討

することにより、ヒラメ種苗の生息場の形成適地として許容すべき波浪、流動および底質などの物理環境条件について検討した。

2. 実験方法

(1) 着底・遊泳特性実験

実験には、全長 24~180mm の人工種苗、および北海道余市沖で採取された 51~119mm の天然魚を使用した。着底限界流速、および遊泳速度の測定には小型振動流水槽(水路全長 3.5m, 観測部水路長 1.5m, 水路幅 35cm, 水深 35cm, 砂層箱深度 15cm)を使用した。本水槽は耐海水仕様の垂直循環式回流水槽で温度調節機能を有するとともにイパラの回転をパソコンで制御することによって最大流速約±100cm/s

の範囲で任意の非定常流（定常流，振動流等）を発生させることができる．実験では，水路内海水温を18℃度に設定した上で，主流流速を徐々に上昇させながら，アクリル底面上でヒラメが定位できなくなり流下（遊泳を開始）する流速値をビデオ撮影後画像解析より推定した．さらに，ヒラメ種苗の遊泳速度の測定では，アクリル底面に配置した無数の小さな穴より微弱な上昇流を発生させることにより，ヒラメ種苗を強制的に浮上・遊泳させた状態で，段階的に流速を上昇し流下を開始する流速値を計測した．

(2) 潜砂耐性実験

小型振動流水槽の観測部底面に設置された砂層箱内に珪砂（中央粒径 0.3mm，砂層圧 150mm）を敷き，水路内を幅 10cm 程度に瀬割した上で，全長 13.5～17.6mm の人工種苗を潜砂させた．水路内に流速振幅 24～149cm/s，周期 6～10 秒までの振動流を作用させてヒラメが図-1 のように潜砂する状況を水路側面の観測窓よりビデオに記録し，潜砂深度 D を計測した．

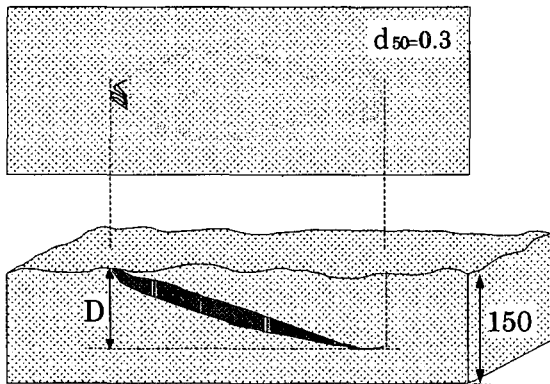


図-1 潜砂状況および潜砂深度

(3) 流体特性実験

図-2 に示すように，水平流速 u_w に対して速度 u_b で遊泳するヒラメに関する運動方程式は

$$\rho_b V \frac{du_b}{dt} = \rho_w V \frac{du_w}{dt} - C_M \rho_w V \frac{d}{dt} (u_b - u_w) - \frac{1}{2} C_D \rho_w A |u_b - u_w| (u_b - u_w) + F_t \quad (1)$$

ここに，TL はヒラメの全長， ρ_b ， ρ_w はヒラメ及び流体の比重，V はヒラメの排除水質量，A はヒラメの流れ方向の射影面積， F_t はヒラメの推力，さらに C_D および C_M は抗力および質量力係数で遊泳時を想定するため底面摩擦の影響は無視している．

$$F_t = -\frac{1}{2} C_D \rho_w A |u_w| u_w \quad (2)$$

式(1)は， $u_b=0$ ， $du_b/dt=0$ の場合には式(2)となり，定常流速値とヒラメの遊泳速度が釣り合う場合の u_w 値と C_D 値より推力 F_t を推算できる．

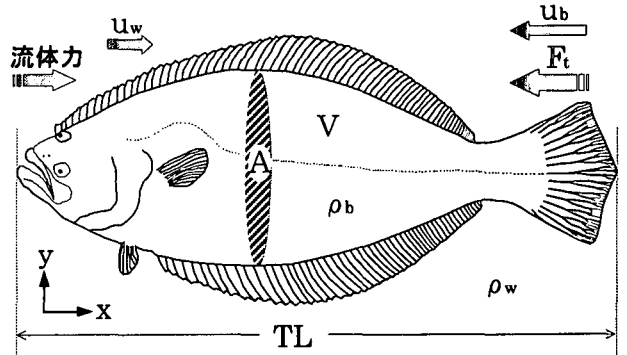


図-2 ヒラメ周辺の力の釣合い

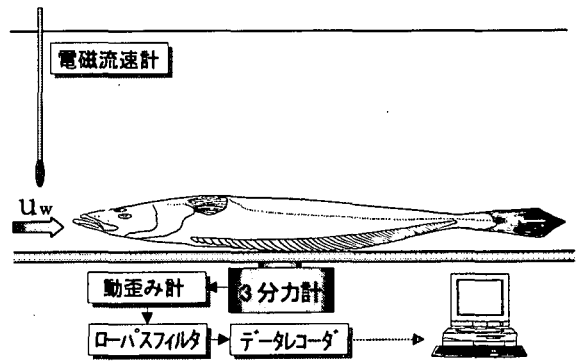


図-3 流体力測定実験概念図

ヒラメ種苗に作用する流体力測定実験の概要図を図-3 に示す．実験には小型振動流水槽を使用し，水路観測部中央の底面に微小応力測定用に試作した水中3分力計（1g 単位で検定）を配置した．5%濃度のホルマリンで着底形状に固定したヒラメ種苗を水中3分力計のセンサー部に瞬間接着剤で固定し水底より支持した上で，定常流（20.6～58.8cm/s）および振動流（周期 6～10 秒）を作用させて流体力を主流流速値と共に計測した．計測データは，何れも 50Hz で A/D 変換後デジタルデータレコーダに記録しパソコンで解析した．

3. 実験結果と考察

(1) 着底限界流速

静水で着底状態にあるヒラメ種苗に前方より定常流を作用させると，流速の上昇とともに主流方向に頭部を配置するとともに，次第に魚体および鰭を湾曲させて流れを避ける態勢をとるようになる．さらに流速が増加すると背鰭を周期的に運動させて着底態勢の維持を図り，さらに流れが強くなると

浮上しながら遊泳を開始する。図-4はアクリル底面上に着底しているヒラメ種苗に前方、および後方より定常流および振動流を作用させた場合の着底限界流速 (u_c) の全長 (TL) による変化を示したものである。これよりヒラメ種苗は、振動流下においては、流向の周期的な逆転に鰭運動などの耐流運動が追従しきれず自発的に浮上し遊泳を開始するため最も着底能力が弱い結果となっている。なお、今回実施した振動周期 (6~10秒) の範囲内においては着底状況に周期による差異は認められなかった。

一方、定常流下においては、ヒラメ種苗は後方からの流れに対して最も耐性が強く、全長の3~4倍に相当する流速値に対して着底状況で定位可能なことがわかった。

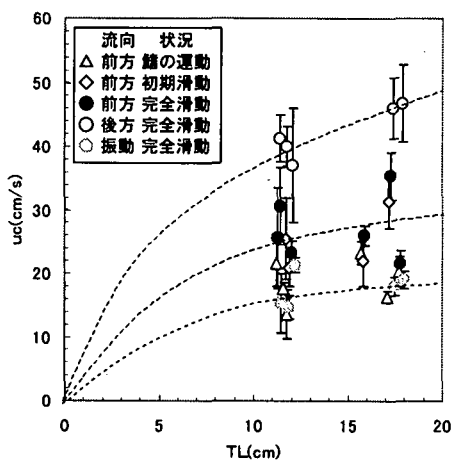


図-4 着底限界流速

においては、以下の式(3)で近似的に表現できる。

$$u_{bn} = 15.12 \times TL^{0.43} \quad (3)$$

また、図-5右図は、式(3)で近似される天然魚の遊泳速度 (u_{bn}) に対する人工種苗の遊泳速度 (u_{ba}) の比を全長で整理して示したものである。これより、全長がほぼ8cm以上のヒラメ種苗では、遊泳速度に人工と天然の差異がほとんど認められないが、それ以下のサイズにおいては天然魚に対して極端に遊泳能力が劣る種苗の存在が認められる。従って、種苗放流後の生残率を向上させるためには放流サイズを全長8cm以上と大型化するか、それ以下の種苗サイズであれば種苗生産段階において、遊泳能力をもとに種苗の質を選別する必要があると認められる。

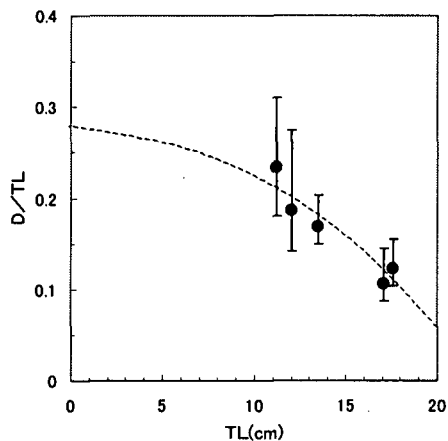


図-6 最大潜砂深度

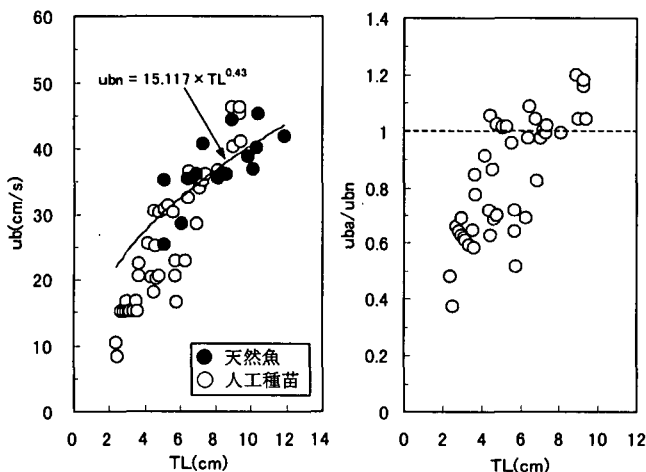


図-5 遊泳速度

(2) 遊泳能力

図-5左図はヒラメの天然魚および人工種苗における遊泳速度 (u_b) の全長による変化を示したものである。これより、ヒラメ種苗は全長のほぼ4~6倍程度に相当する遊泳速度を有しており、天然魚に

(3) 潜砂能力

静水下の砂床内に着底したヒラメ種苗の多くは、しばらくすると背鰭および尻鰭を規則的に運動させながら潜砂し、静水下で潜砂しない個体も、流れの発生とともに徐々に潜砂運動を開始する。砂床上に振動流が作用すると浮遊砂の発生とともに次第に砂澱が発達し、潜砂したヒラメの上部の砂も堆積や浸食に伴う砂層厚の変化を生じるが、ヒラメ種苗は潜砂中においても、過度の堆積に対しては魚体を湾曲運動させながら、潜砂深度を調整している。

図-6は、ヒラメ種苗の最大潜砂深度を全長で基準化した上で全長による変化を示したものである。

実験では、同一個体においても、多少のばらつきは認められるが、全長の0.25~0.1程度の潜砂深度をとりながら全長の増加とともに徐々に減少する傾向が認められる。

なお、今回の実験では、瞬間的な浸食で潜掘された個体は、次の瞬間に再潜砂し、底質が層状で移動するシートフローに近い極めて厳しい実験条件下

においても流下・流下する個体はほとんど認められなかった。

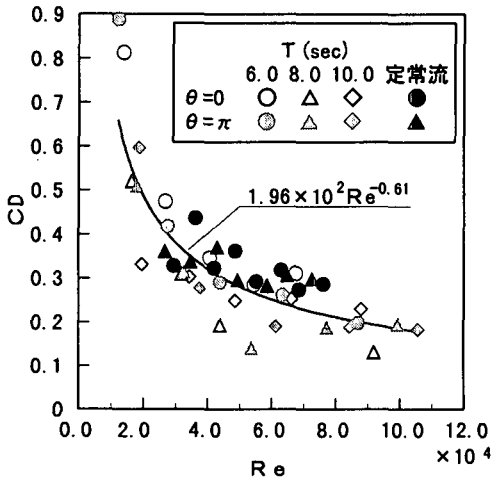


図-7 抗力係数のRe数による変化

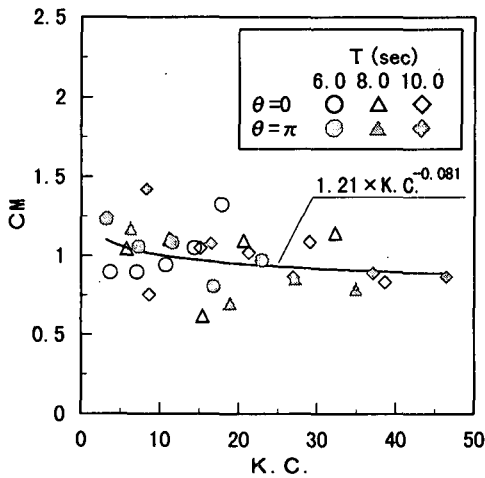


図-8 質量力係数のK.C.数による変化

(4) 流体力特性

小型のターンテーブル上にヒラメ種苗を固定し、テーブルを段階的に回転させながら側面方向よりビデオ画像に撮影後、画像計測することによりヒラメの射影面積 (A) を計測した。さらに、ヒラメの空中・水中重量より排除水質量 (V) を算出した。

各諸元は全長 (TL)、および流れに対する迎え角 (θ) によって以下の式で近似できる。

$$A = (0.022 + 0.029 \sin^2 \theta) \times TL^2 \quad (4)$$

$$V = 0.0098 \times TL^3 \quad (5)$$

図-7 はヒラメの抗力係数 (C_D) の、全長 TL を代表長として計算されるレイノルズ数 ($Re = TL \cdot u_w / \nu$; ν は流体の動粘性係数) による変化を示したものである。これより、抗力係数は定常流場、振動流場、さらにはヒラメに対して正流、逆流の何れの方法においても、ほぼ同一曲線上で変化し、0.3~

0.2程度の値をとることがわかる。

図-8 は質量力係数 (C_M) の $K.C.$ 数 ($K.C. = T \cdot u_{wmax} / TL$; u_{wmax} は振動流の流速振幅, T は振動周期) による変化を示したものである。実験的に得られた C_M 値はかなりのばらつきが認められるが大局的には1.0程度の値をとりながら、 $K.C.$ 数の増加とともに若干減少してゆく傾向が認められる。各流体力係数は以下の式で近似できる。

$$C_D = 1.96 \times 10^{-2} Re^{-0.61} \quad (6)$$

$$C_M = 1.21 \times K.C.^{-0.081} \quad (7)$$

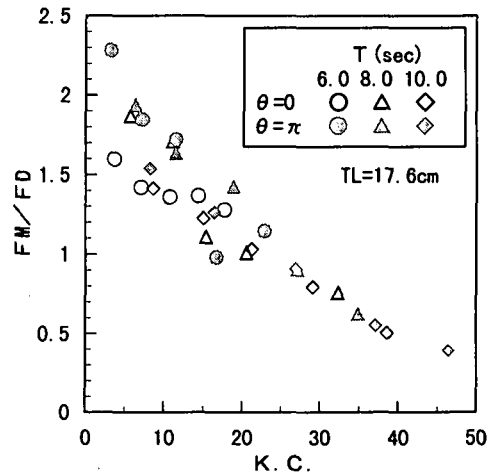


図-9 抗力成分と質量力成分の作用状況

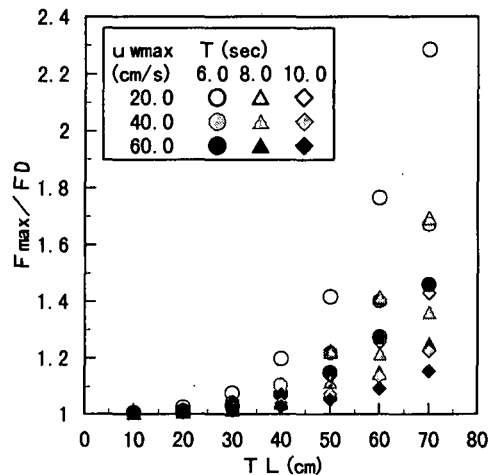


図-10 最大流体力と抗力成分の作用状況

振動流場における流体力の抗力成分 (F_D) と質量力成分 (F_M) の比を $K.C.$ 数で整理すると図-9となる。さらに、各成分を位相合成した波周期内の最大流体力 (F_{max}) と抗力成分の比のヒラメの全長による変化を振動流速および周期で整理して示すと図-10となる。これより、 $K.C.$ 数が20程度以下の、水粒子の移動振幅が小さい場合、或いはヒラメ

の全長が比較的大きい場合には質量力成分が抗力成分より卓越しており、ヒラメに作用する最大流体力についても、同様の傾向が認められる。

図-5 で示される遊泳速度と抗力係数に関する式(6)を式(2)に代入することにより、ヒラメ種苗の推力を算出し全長による変化を示すと図-11 となる。

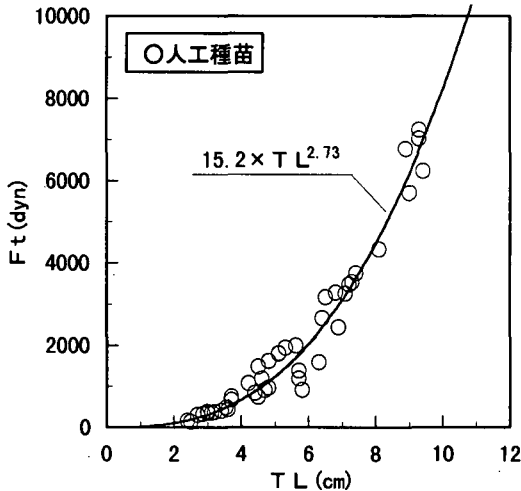


図-11 ヒラメ種苗の推力

これよりヒラメ種苗は全長の増加とともに、作用抗力成分を上回る、全長の2乗以上の割合で急速に推力が増大しており以下の式で近似できる。

$$F_t = 15.2 \times TL^{2.73} \quad (8)$$

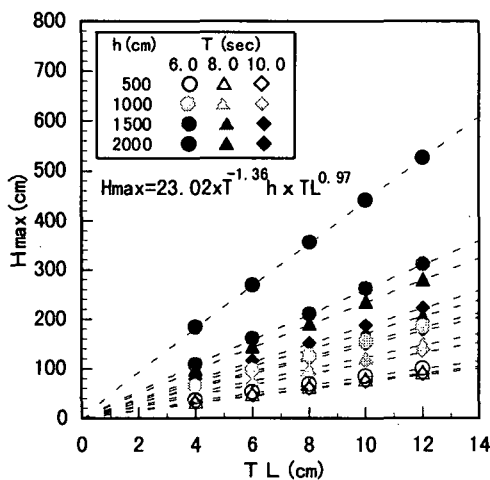


図-12 放流適地の許容最大波高

動流よりヒラメ種苗に作用する流体力をヒラメの推力が上回る海域を、遊泳能力面より放流適地の満足すべき適地の指標値と考えれば、放流場の満足すべき波浪静穏条件が導かれる。

図-12 は指標値を満足できる許容最大波高(H_{max})の全長による変化を、放流場の平均水深(h)および波周期(T)をパラメータとして微小振幅波理論より計算したものである。

これより、許容最大波高値は波周期の増加とともに減少し、全長の増加にほぼ比例して増加する傾向を呈し次式で近似できる。

$$H_{max} = 23.02T^{-1.36}TL^{0.97}h \quad (9)$$

4. おわりに

本研究は、ヒラメの種苗放流後の生残を規定する様々な環境要因の中で、人為的な制御が比較的容易な流動・波浪要因について検討し、式(9)の結果を得た。一般にヒラメ種苗の放流は放流サイズが3~10cmの範囲で、水深5~10mの砂浜海域で実施されている。図-12によれば、当該域の許容最大波高値は何れも1.5m以下の極めて静穏な波条件が要求され、餌料や害敵環境に加えて波浪環境も生残を左右する要因として、今後、潜砂能力の底質粒度組成による変化や遊泳能力の水温による変化などさらに検討してゆく必要がある。また、本研究の成果は、ヒラメ種苗の馴化を目指した開放型の中間育成や、放流後の保護・育成を目指した培養礁の設計条件などの基礎的知見としても応用できるものと考えられる。

参考文献

- 1) 安永義暢: ヒラメ仔稚魚の整理生態に関する研究, 水産工学研究所報告 9, pp. 9-164, 1988.
- 2) 橋本新他 4名: ヒラメの網生管内における遊泳能力について, 日本水産学会誌 62(1), pp. 12-16, 1996.

(1999. 4. 19 受付)

(5) 種苗放流海域の物理条件

種苗放流後のヒラメ種苗の生残に直接的に関与する最も基本的な要因として、放流場における餌生物の捕食能力と害敵よりの逃避能力が考えられるが、何れにおいても、本来の遊泳能力を十分に発揮できるか否かが重要となる。そこで、波浪に伴う振