

1. 日本海における成長段階別の回遊様式の把握

(3) 対馬暖流域沿岸における加入主群の構造の把握

方 法

初期成長および耳石径の推移の飼育水温による差異の把握 飼育実験に供したブリ親魚は、天然モジヤコ由来の種苗を養殖業者が約2年、五島栽培漁業センターの海面小割生け簀で約1年間、養成した3歳魚である。これらの親魚にヒト胎盤性性腺刺激ホルモン(human chorionic gonadotropin:HCG; あすか製薬)を魚体重1 kgあたり600IUとなるように処理した後、乾導法による人工授精により得られた受精卵を18, 20, 22℃に設定した200ℓ卵管理水槽に収容、ふ化した仔魚を日齢1でそれぞれ卵管理時と同水温に設定した500ℓ円形水槽(各水温区3水槽)に約8,000個体ずつ移槽した後、日齢20まで飼育した。この間、日齢0, 5, 10, 15, 20で各水槽30~50個体程度のサンプリングを行い、90%エタノールにより固定した。給餌は開口が確認された水温区から順次開始し、高度不飽和脂肪酸を強化した濃縮淡水クロレラ(スーパー生クロレラV12; クロレラ工業)により栄養強化したL型ワムシを午前、午後の1日2回、水槽内の密度が3~10個体/mlになるよう、減り具合に応じて段階的に多くした量を与えた。

サンプリングした仔魚は万能投影機で20倍に拡大して体長を計測(脊索屈曲前は脊索長、屈曲後は標準体長)後、各水温区で最も生残率の高かった1水槽については日齢5, 10, 15, 20の試料から耳石(扁平石)を摘出した。摘出した耳石はスライドガラス上に透明マニキュアを用いて包埋し、顕微鏡に接続したビデオマイクロメーター(オリンパスVM-30)によりモニター上の倍率500~1,200倍で観察、中心核からの長径(以下、耳石径)を計測した。得られた体長および耳石径の計測値は各日齢で飼育水温区による差異を統計的に検討した。

天然魚における初期耳石径の観察事例および飼育個体との比較 天然魚の耳石径の解析には、2002年および2003年の4~5月に西海区水産研究所が実施した浮魚産卵調査(漁業調査船陽光丸)により九州西部~東シナ海において採集された幼稚仔(山本ら, 2005)、および2005年7~12月および2006年7~翌2月に石川県能登半島沿岸で漁獲された当歳魚(辻ら, 2006, 2009)を用いた。これらの個体の耳石日周輪数(推定ふ化日)および耳石日周輪間隔データから、ふ化月と少日齢での耳石径(該当する日齢までの日周輪間隔の

総和)の関係を整理し、各水温区の飼育個体との間および採集状況やふ化月が異なる様々な天然個体間での比較を行った。なお陽光丸で得られた日齢10~15の個体においては、採集時の表層水温と4~5日齢ごとの輪紋間隔の関係を調べた。

結 果

水温別飼育実験において、日齢0での体長は22℃区で有意に小さかったが(one-way ANOVA, $p < 0.01$, Tukey's test, $p < 0.01$)、日齢5, 10では18℃区と他の2区(one-way nested ANOVA, $p < 0.01$, Tukey's test, $p < 0.01$)、日齢15(one-way nested ANOVA, $p < 0.01$, Tukey's test, $p < 0.01$)では全水温区間で有意差が認められ、いずれも高水温ほど大きかった(Fig. 1-3-1)。なお日齢20では22℃区の計測値の分散が大きく、他の日齢と同様の統計的な検討は出来なかったが(同手法を用いた場合の結果を参考のためにFig. 1-3-1に示した)、水温区による体長差は明らかであり、高水温ほど大きかった。

一方、耳石径は日齢5以降、全水温区間に有意差が認められ(Kruskal-wallis test, $p < 0.01$, 平均順位の多重比較, $p < 0.05$)、高水温ほど大きかった(Fig. 1-3-2)。また各日齢における体長(mm)に対する耳石径(μm)の相対比は、いずれの場合も高水温ほど高い傾向が認められた(Fig. 1-3-3)。

次に陽光丸で採集された日齢10~15までの個体において、採集時の表層水温と各個体の4~5日齢ごとの輪紋間隔の関係を示す(Fig. 1-3-4)。これらの個体にとって、採集日の10日以上前にあたる日齢1~5の輪紋間隔と採集時の表層水温の間には明確な関係は認められなかったが、採集前10日以内にあたる日齢5~10および10~15の輪紋間隔は採集時の表層水温が高いほど大きい傾向が認められた。

ふ化月や採集状況(時期、海域)が異なる様々な天然個体との間で日齢5の耳石径を比較したところ、22℃および20℃区ではその平均値±標準偏差の区間に天然個体との間で重複が見られたが、全般的には天然魚で高い値を示し、また天然個体間では産卵期間の後半の月にふ化した群ほど輪紋径が小さい傾向が認められた(Fig. 1-3-5)。また本飼育実験における各水温区の個体(日齢5~20)および採集時日齢20未満の天然個体で得られた体長と耳石径の関係(線形近似)を

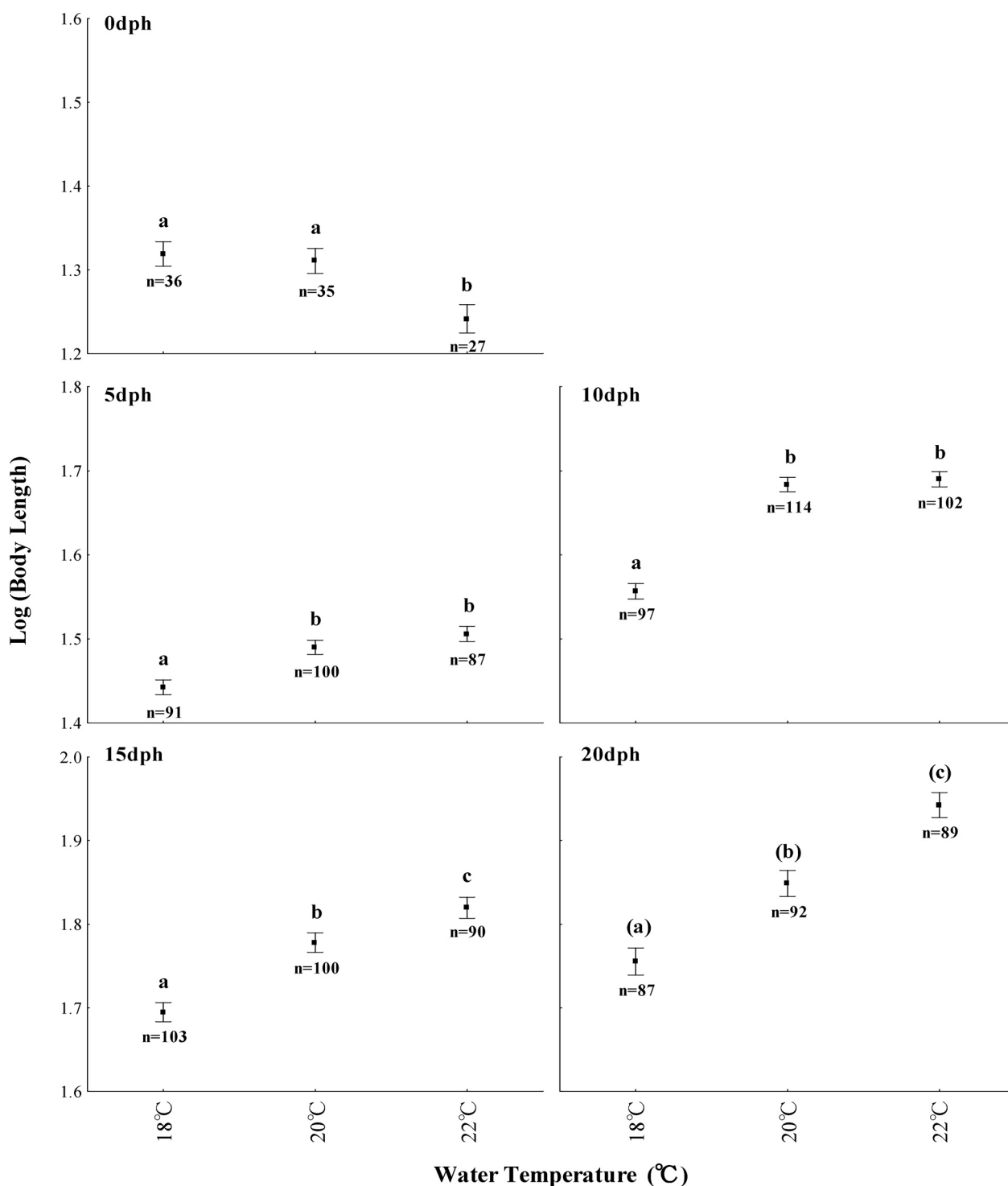


Fig. 1-3-1. 各日齢のブリ飼育個体における飼育水温と対数変換した体長（平均値，バーは95%信頼区間）との関係。異なるアルファベット表記は有意差を示す（0dph: one-way ANOVA, $p < 0.01$, Tukey's test, $p < 0.01$, 5-15dph: one-way nested ANOVA, $p < 0.01$, Tukey's test, $p < 0.01$ ）

Relationships between water temperature and log-transformed body length (mean, bar indicate 95% confidence interval) of reared yellowtail at each days post hatch. Different letters indicate significant difference in log-transformed body length at each days post hatch (0dph: one-way ANOVA followed by Tukey's test for multiple comparison, $p < 0.01$, 5-15dph: one-way nested ANOVA followed by Tukey's test for multiple comparison, $p < 0.01$)

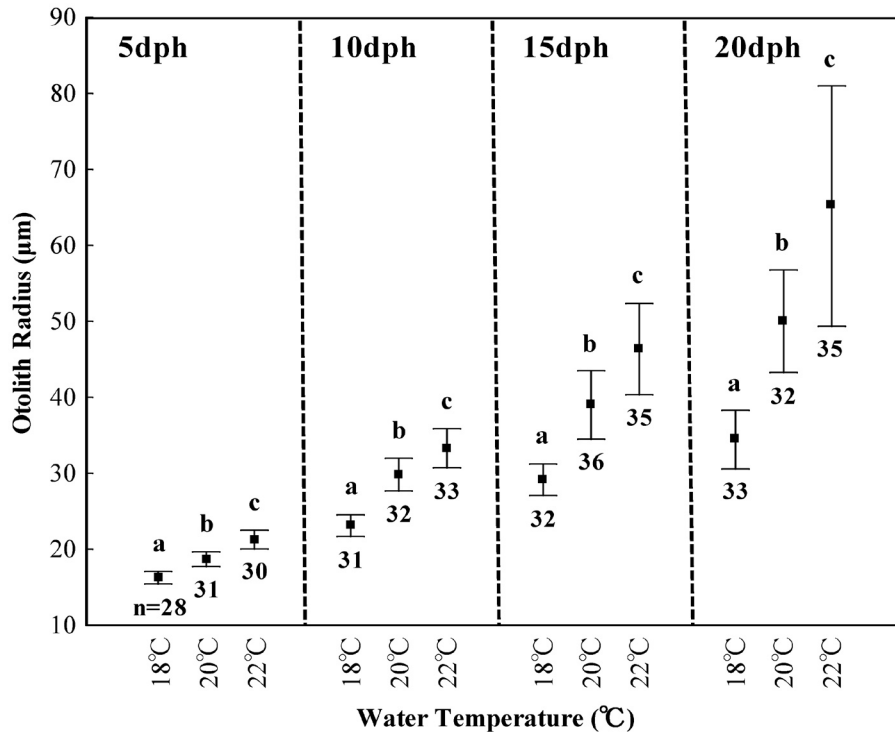


Fig. 1-3-2. 各日齢のブリ飼育個体における飼育水温と耳石径（平均値±標準偏差）の関係
異なるアルファベット表記は有意差を示す（Kruskal-Wallis test, $p < 0.01$, 平均順位の多重比較, $p < 0.05$ ）
Relationships between water temperature and otolith radius (mean \pm SD) of reared yellowtail at each days post hatch. Different letters indicate significant difference in otolith radius at each days post hatch (Kruskal-Wallis test followed by post hoc test (Siegel and Castellan 1988) for multiple comparison, $p < 0.05$)

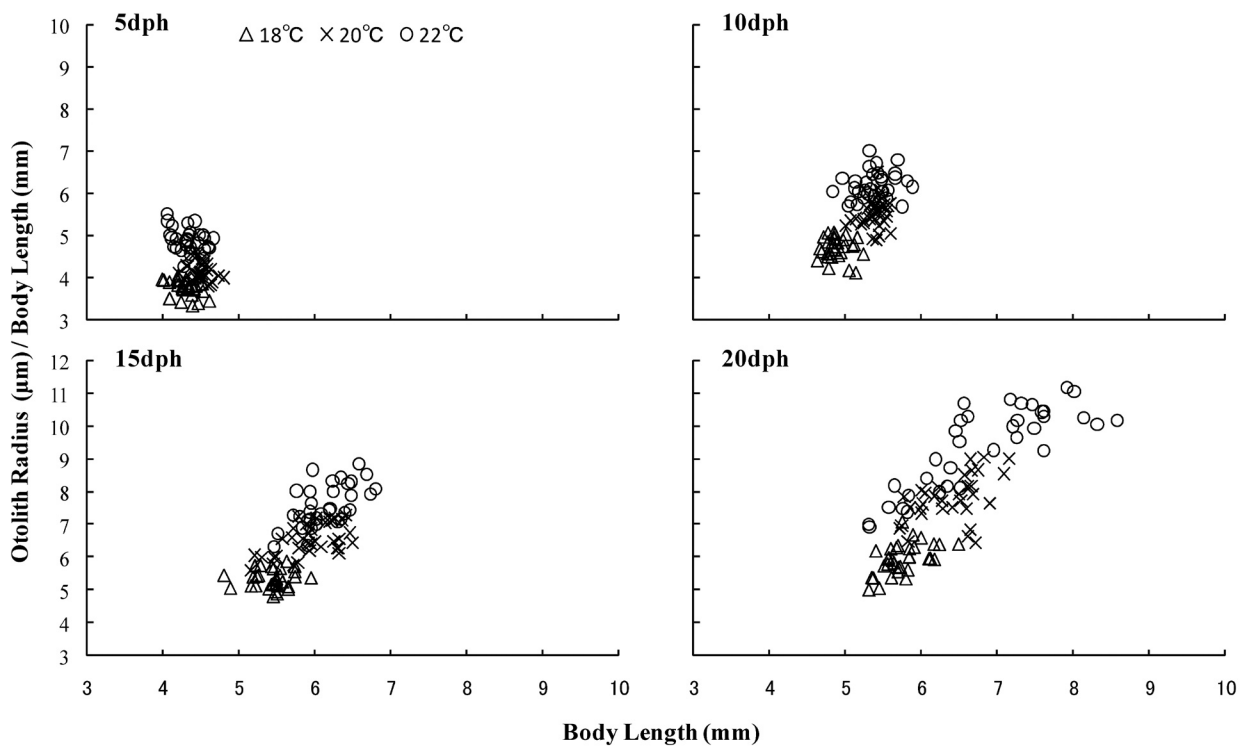


Fig.1-3-3. 各日齢のブリ飼育個体における飼育水温ごとの体長と耳石径相対比 {耳石径 (μ m)/体長 (mm)} の関係
Relationships between body length and relative otolith radius ratio {otolith radius (μ m) / body length (mm)} of reared yellowtail at each days post hatch under different water temperature.

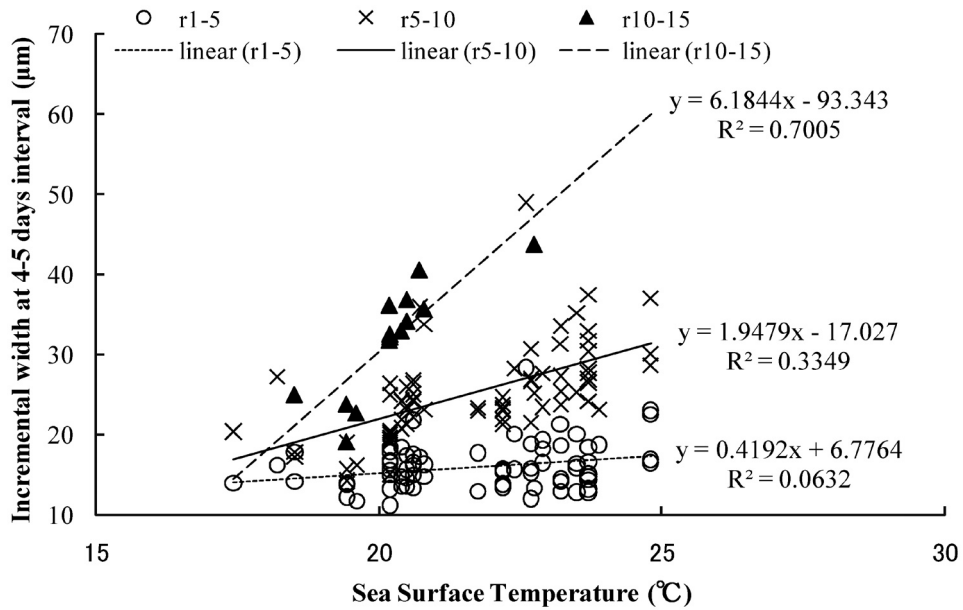


Fig. 1-3-4. 2002年, 2003年春季に東シナ海で採集された日齢10-15のブリ天然個体における採集時表水温と4-5日齢ごとの耳石輪紋間隔の関係
 Relationships between sea surface temperature at each sampling station and incremental width at 4-5 days interval of wild yellowtail at 10-15 days post hatch collected at East China Sea in spring 2002, 2003.

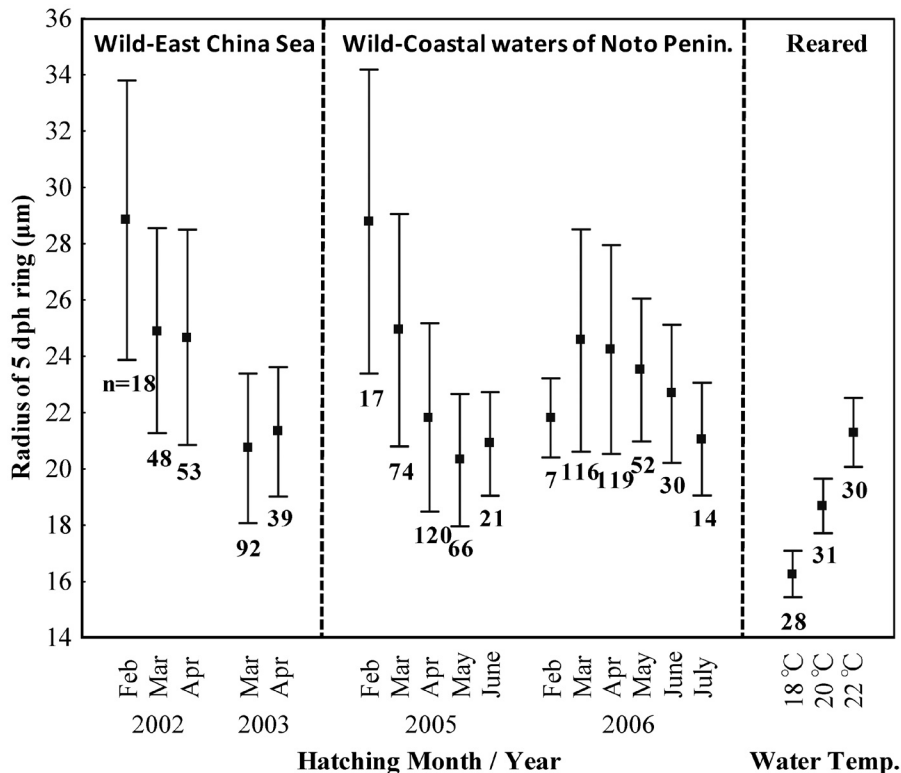


Fig. 1-3-5. 東シナ海および能登半島沿岸で採集されたブリ天然個体におけるふ化月ごとの日齢5の輪紋径(平均値 \pm 標準偏差)と各水温区の飼育個体における日齢5の耳石径(平均値 \pm 標準偏差)
 Ring radius (mean \pm SD) at 5 days post hatch of wild yellowtail hatched at each month and otolith radius of reared yellowtail at 5 days post hatch under different water temperature.

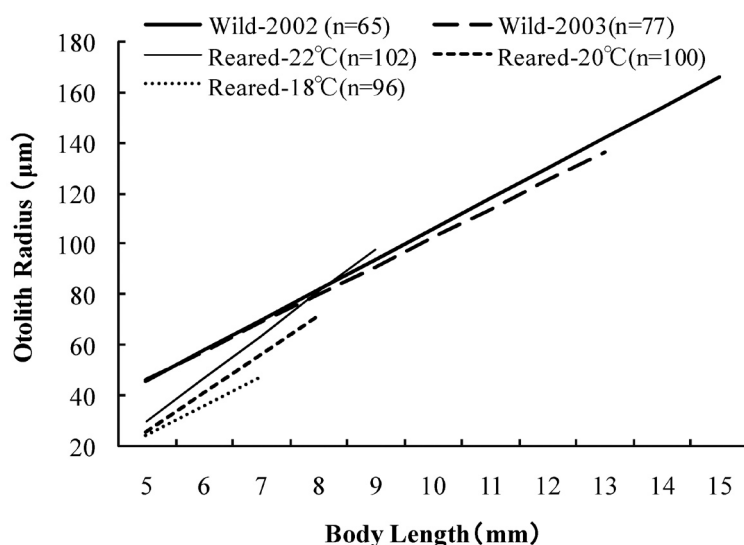


Fig. 1-3-6. 2002年, 2003年春季に東シナ海で採集された日齢20以下のブリ天然個体および各水温区の飼育個体における体長と耳石径の関係
Relationships between body length and otolith radius of wild yellowtail under 20 days post hatch collected at East China Sea in spring 2002, 2003 and reared yellowtail under different water temperature.

比較したところ, 特に体長7 mm 未満では, 同一体長においても天然個体の耳石径がはるかに大きいという結果が得られた (Fig. 1-3-6)。

考 察

日齢0における体長は22℃区で有意に小さく, ふ化までの所要時間が短いことを反映しているものと考えられたが, 開口, 摂餌開始およびその後の発育が高水温ほど速やかに進行したことから日齢5および10では18℃区と他の2区, 日齢15および20では全水温区間で体長差 (成長差) が顕在化し, 高水温区ほど大きいという結果が得られたと推定された。

一般的には魚類の体長と耳石径 (体成長と耳石輪紋間隔) には相関があることが知られていることから (渡邊, 1997), 環境水温等による成長の違いによりある時点での体長に差が生じた場合, それが耳石径の差としても認められると考えられる。初期成長の差異から発生海域の環境水温を推定する手法が成立するためには, ふ化した仔魚がそれぞれの発生海域あるいはそのごく近傍に分布する出来る限り少日齢時において, 体長およびそれを反映すると考えられる耳石径に環境水

温による差異が生じることが不可欠であるが, 飼育実験ではそのような体長の差異が認められるまでに15日齢を要したことになる。

しかしながら本研究では, 日齢5の時点で体長差が明瞭ではないにもかかわらず耳石径に全水温区間で有意差が認められ, 日齢5での耳石径を発生海域の環境水温推定に用い得る可能性が示唆された。このことは体長に対する耳石径の相対比が飼育水温により異なり, 高水温ほど大きいことに起因しているが, その生理的背景については現段階では検討できていない。

天然海域でふ化したブリ仔魚がどの程度の期間, 発生海域あるいはその近傍に分布するかは知られていないが, 陽光丸で採集された少日齢のブリ仔魚では, 採集される10日以上前の耳石輪紋間隔と採集時の表層水温に明確な関係は認められず, 初期成長 (および耳石輪紋間隔) に影響を及ぼす環境要因が, 採集時と10日前で異なっていたことを示唆している。水温以外にも初期成長 (および耳石輪紋間隔) に影響する要因は考えられるが, 18~22℃の飼育水温下で摂餌開始が確認されたのは日齢3~5であったため, 少なくとも日齢5程度の耳石径に影響する後天的な要因としては卵期以降の環境水温が重要であろう。このことを踏まえ, 飼育実験でも水温による差異が認められた日齢5にお

ける耳石径を、飼育個体と天然の幼稚仔および天然個体間での比較検討に用いた。

日齢5における天然個体の耳石径は、20℃区および22℃区の飼育個体と値が重複していたものの、22℃区より大きい範囲を示す群が多く見られた。ブリの産卵に好適と推定される水温帯が19~21℃（三谷, 1960）、卵稚仔の多く採集される水温帯が20~22℃であることから（山本ら, 2007）、この大きい耳石径を示す多くの群が、発生初期に22℃よりさらに高い水温帯を分布の中心としていたとは考えにくい。天然海域では初期成長（率）が高い個体が生残することが多くの魚種で確認されており（Shoji and Tanaka, 2006; Tanaka *et al.*, 2006）、ブリ天然個体でも日齢5の時点での生残個体における耳石径の平均値は、採集時まで生残した個体の日齢5の時点の耳石径より小さくなる可能性は高いが、本研究において飼育個体との間に見られた差異は、このことだけでは説明できない。

飼育個体と天然個体における体長と耳石径の関係を

示した Fig. 1-3-6から明らかなように、天然個体では特に体長7 mm 以下で、同一体長の飼育個体に比べて耳石径がはるかに大きく、主としてこのために日齢5の耳石径に大きな差が見られたと考えられたが、その生理生態的背景については今後の検討が必要である。

いずれにしても、天然個体と飼育個体では、同じ環境水温、同体長であっても少日齢での耳石径には差があると考えられることから、飼育実験で得られた環境水温と耳石径の関係を天然魚の発生海域の環境水温推定に適用していくためには何らかの補正が必要となる。

天然個体においては産卵期間の後半の月にふ化したものほど、日齢5の耳石径が小さい傾向が認められた。環境水温が高いほど日齢5の耳石径が大きいう実驗結果が天然個体にも適用できるとすれば、後期にふ化した群ほど発生海域の水温が低いことになる。

人工種苗生産過程におけるブリの産卵水温は(18~)19℃（有元ら, 1987）、天然海域において推定される産卵最適水温は19~20℃であり（三谷, 1960）、ブリ

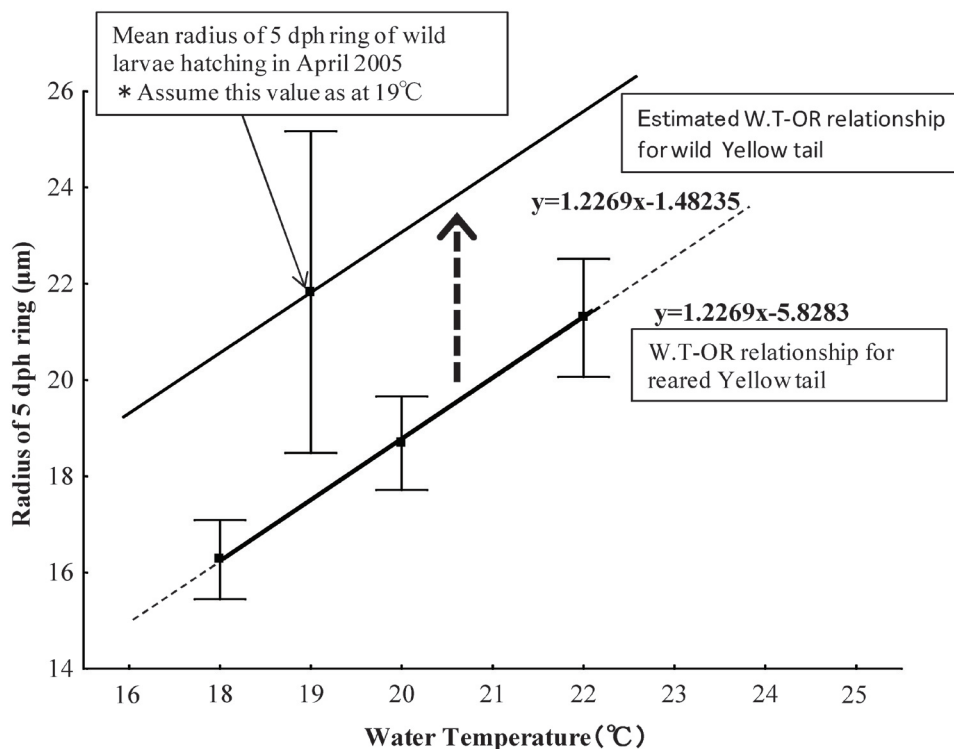


Fig. 1-3-7. 2005年に能登半島沿岸で漁獲されたブリ当歳魚における日齢5の平均耳石径を用いたふ化月ごとの発生海域の環境水温の推定手順

Estimating process of the water temperature of monthly hatching ground of young yellowtail captured at coastal waters of Noto Peninsula in 2005 by using mean ring radius at 5 days post hatch.

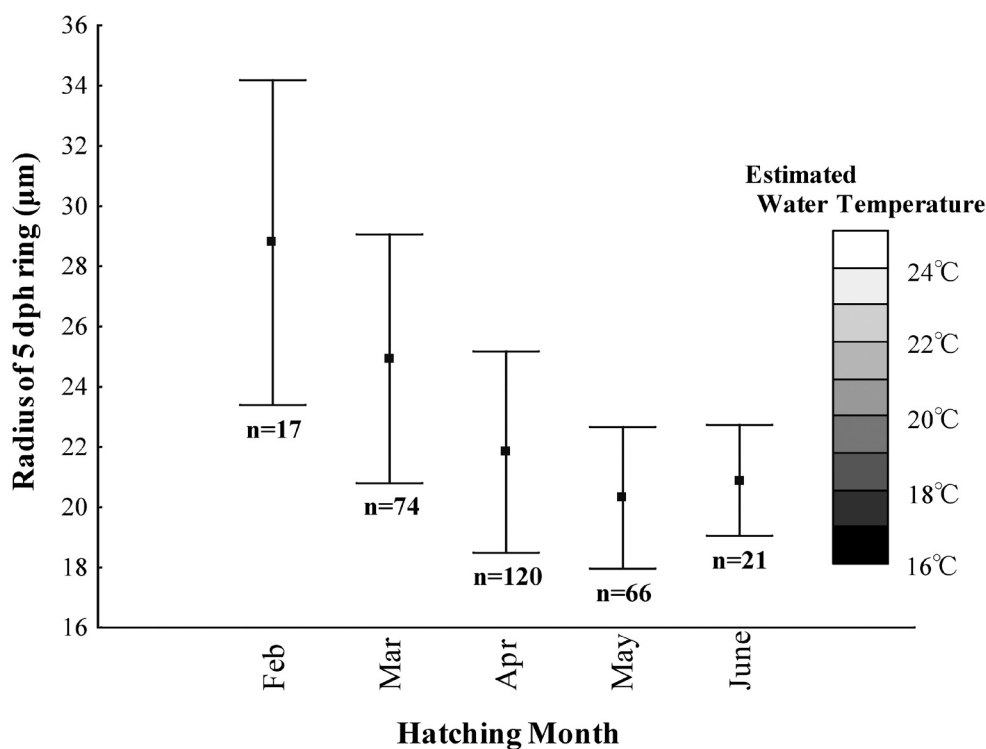


Fig. 1-3-8. 2005年に能登半島沿岸で漁獲されたブリ当歳魚におけるふ化月ごとの日齢5の耳石輪紋径（平均値±標準偏差）と発生海域の推定環境水温

Ring radius (mean ± SD) at 5 days post hatch and estimated water temperature of monthly hatching ground of the young yellowtail captured at coastal waters of Noto Peninsula in 2005.

の産卵海域は季節の進行に伴う水温の上昇とともに北上する（三谷，1960）とされているが，産卵親魚の漁獲動向，成熟調査および卵稚仔の分布調査等から推定される時期ごとの産卵海域（山本ら，2007）は必ずしもこの水温帯とは一致しない。

そこで，本研究の結果およびこれまでの知見を参考に，以下のように仮定し，2005年7～12月に石川県能登半島沿岸で漁獲された当歳魚について，ふ化月ごとの発生海域およびその環境水温を試行的に推定した。すなわち，①産卵盛期である4月生まれ群の日齢5の耳石径の平均値は，主産卵水温である19℃における値とする，②日齢5の耳石径は天然個体においても環境水温が高いほど大きく，水温に対する耳石径の変化の割合は飼育個体と等しい，またこの関係は18～22℃以外の水温帯にも当てはまることとした（Fig. 1-3-7）。

このような仮定の下で，ふ化月ごとの耳石径の平

均値に環境水温の尺度を当てはめることにより，発生海域の環境水温が2月～6月生まれでそれぞれ，24.7℃，21.5℃，19.0℃，17.8℃，18.6℃であると推定された（Fig. 1-3-8）。このことと毎月の海面水温分布図（気象庁のホームページ，2005年の2～5月の各中旬および6月上旬のデータを利用）を照合し，2005年に能登半島沿岸で漁獲された当歳魚の発生海域が2月～6月でそれぞれ東シナ海南部（台湾周辺），東シナ海南部（～中部），東シナ海中南部～九州西方（男女群島～甌島周辺），東シナ海北部（五島列島周辺）～日本海西部（九州北方周辺），日本海西部（山陰～若狭湾沖）と推定された（Fig. 1-3-9）。ただし，4月には該当する水温帯の等温線が南西方向に伸びており，東シナ海の大陸棚内縁の広範囲の海域が発生海域の候補となりうる。

以上は，ふ化月ごとにグループ分けした各群の日齢5の耳石径の平均値にのみ着目し，いくつかの仮定を

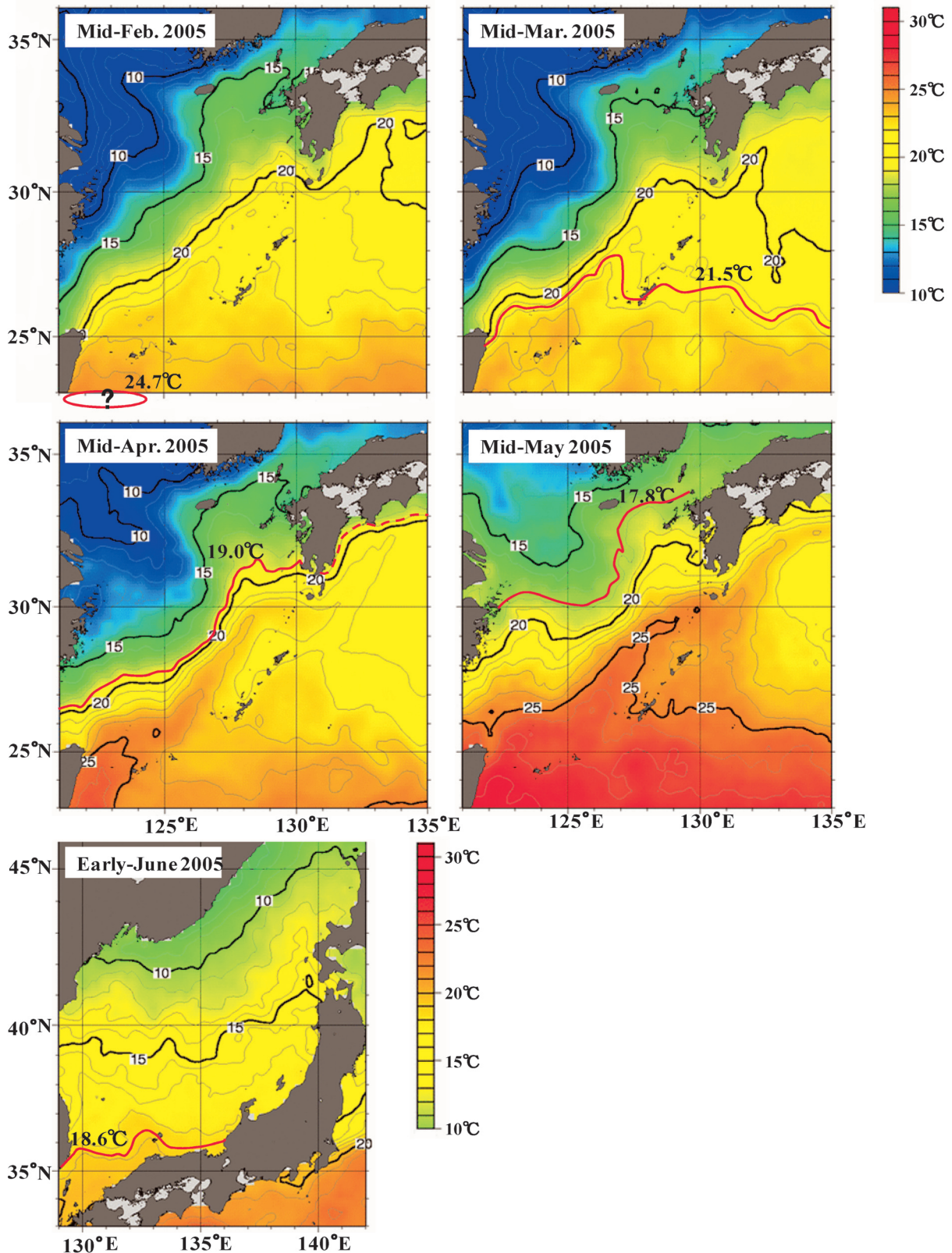


Fig.1-3-9

Fig. 1-3-9. 2005年に能登半島沿岸で漁獲されたブリ当歳魚におけるふ化月ごとの推定環境水温と各月の海面水温分布図（気象庁ホームページのデータを参照）の関係

Relationships between estimated water temperature of monthly hatching ground of the young yellowtail captured at coastal waters of Noto Peninsula in 2005 and monthly distribution of sea surface water temperature (reference image data on Japan Meteorological Agency's website).

おいた上での推定結果であり、ふ化月が同じでも日齢5の耳石径の分散が非常に大きく、また年によっても平均値が大きく異なる場合があるなど検討の余地は大きい。産卵水温自体は早期ほど高く、徐々に低くなっていくと想定される今回の傾向が、過去の知見から推定される2~6月の産卵海域の北上の動向(山本ら, 2007)を比較的よく説明できることは注目される。

以上に述べてきたとおり、飼育実験下では日齢5という極少日齢時の耳石径に環境水温による差異が認められ、耳石日周輪数から推定されるふ化日、環境水温により決定される初期の耳石径および海面水温の分布図を用いてブリ天然魚の発生海域が推定される可能性が示唆された。ただし、天然魚と飼育個体では同水温、同体長であっても初期の耳石径に差が認められたこと、仮に極少日齢時では餌料環境の影響を無視できるとしても、産卵海域、時期による親魚群の年級や栄養状態、多回産卵におけるどのタイミングで産出されたか、あるいは親魚の経験水温の違いなど、親魚由来の卵径、卵質の違いが初期の耳石径に影響する場合も考えられることから、飼育実験の結果を天然魚に当てはめる上では様々な問題点があり、今後はそれらを補

正する方法を検討していく必要がある。また天然個体における少日齢時の耳石径とふ化時期の関係、少日齢個体において採集時水温と耳石径の関係を解析するための試料は十分ではなく、同一年級では仔魚から漁獲される当歳魚までの一連の試料が得られていないことから、まずは東シナ海を中心とした海域で調査船調査により得られる仔稚魚、各海域で養殖種苗として捕獲されるモジャコおよび日本海沿岸の各海域に加入、漁獲される当歳魚を同一年級で入手し、これらのふ化時期と耳石径の関係を整理しておくことが重要である。

このような天然個体における知見の蓄積および種々の飼育実験結果との比較、検討を通じ、天然個体においても環境水温と初期の耳石径の関係を示すことが出来れば、初期の耳石径を指標として、各海域に加入するブリ当歳魚とその発生海域の関係および発生海域ごとの相対的な重要性が明らかとなり、また資源状態や海洋レジーム、年(級)によるそれらの違いも比較、検討可能となることから、本手法の確立は今後のブリ来遊量予測および資源管理手法の向上に大きく貢献しうると考えられる。

(井関智明, 吉田一範)

執筆者連絡先

井関智明 (Tomoaki Iseki) 日本海区水産研究所 〒951-8121 新潟市中央区水道町1-5939-22 (Japan Sea Natl. Fish. Res. Inst., Suido-cho, Chu-ou, Niigata 951-8121 Japan)

吉田一範 (Kazunori Yoshida) 五島栽培漁業センター 〒085-0508 五島市玉之浦町玉浦122-7 (Goto Natl Center for Stock Enhancement, Nunoura, Tamanoura, Goto, Nagasaki 085-0508 Japan)