



Title	陸奥湾におけるハタハタ稚魚の豊度と成長履歴
Author(s)	工藤, 充弘; 高津, 哲也; 福井, 翔太郎 他
Citation	魚類学雑誌, 59(1), 21-35
Issue Date	2012-04-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55299
Type	journal article
File Information	KudoEtAl2012_5901-21.pdf



陸奥湾におけるハタハタ稚魚の豊度と成長履歴

工藤充弘¹・高津哲也^{1*}・福井翔太郎¹・甲本亮太^{1,2}

¹ 〒041-8611 北海道函館市港町3丁目1-1 北海道大学水産学部・大学院水産科学院・水産科学研究院

² 〒010-0531 秋田県男鹿市船川港台島字鶴ノ崎8-4 秋田県農林水産技術センター水産振興センター

(2011 年 8 月 9 日受付；2011 年 12 月 18 日改訂；2012 年 1 月 4 日受理)

キーワード：ハタハタ，稚魚，耳石日周輪，輸送過程，日本海北部系群

魚類学雑誌
Japanese Journal of
Ichthyology

© The Ichthyological Society of Japan 2012

Mitsuhiro Kudo, Tetsuya Takatsu*, Shotaro Fukui and Ryota Komoto. 2012. Abundance and growth trajectory of Japanese sandfish (*Arctoscopus japonicus*) juveniles in Mutsu Bay. Japan. J. Ichthyol., 59(1): 21–35.

Abstract Although spawning of Japanese sandfish (*Arctoscopus japonicus*) does not occur in Mutsu Bay, juveniles of the species were first discovered in the bay in June 2003 (following the initiation of yearly sampling in 1991), also being collected in subsequent years. To better understand the function of Mutsu Bay as a nursery area and the growth characteristics of the early life stages of the sandfish population, their abundance and otolith microstructure were investigated. Juveniles distributed along the sea floor in temperatures of 7.4–10.0°C were sampled in June 2010, measuring 32.4–62.7 mm in standard length some 100–145 days after hatching, an indication of their having hatched from January 14 to February 27 (24% and 76% of juveniles hatched in January and February, respectively). June sampling surveys, conducted each year, revealed that high juvenile abundance in the bay occurred only when adult sandfish had been abundant in the Sea of Japan, off Akita and Aomori Prefectures. The origin of the juveniles in Mutsu Bay may have been the eastern Sea of Japan population, distributed off the northwestern coast of Honshu Island, the Tsushima/Tsugaru Warm Current possibly conveying the larvae and juveniles into Mutsu Bay. Median hatching dates did not differ between sampling stations in Mutsu Bay, although relatively small juveniles with narrow otolith increment widths occurred in the inner part of the bay in June 2010. Such slow-growing juveniles may have been early arrivals to Mutsu Bay from the hatching area, thereby experiencing colder water in the bay from a young age than later arrivals.

*Corresponding author: Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University, 3-1-1 Minato Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan (e-mail: takatsu@fish.hokudai.ac.jp)

ハタハタ *Arctoscopus japonicus* は東北以北の太平洋岸および山陰地方以北の日本海岸，朝鮮半島岸，沿海州，サハリン，千島，カムチャツカ，オホーツク海奥部まで分布する冷水性底生魚である（尼岡，1984；Okuyama, 1990；Chereshnev and Nazarkin, 2002）。日本周辺に生息する本種は，計数形質や標識放流，漁獲量変動傾向，ミトコンドリア DNA 解析等から，いくつかの遺伝集団のなかに複数の系群（個体群）の存在が想定されており（沖山，1970；小林・加賀，1981；南・田中，1985；柳本，2004；友田ほか，2006；Shirai et al.,

2006），大きくは日本海からオホーツク海に生息する「日本海－根室群」と北海道沖の太平洋に生息する「太平洋群」の2つの遺伝集団に分かれる（沖山，1970；柳本，2004）。さらに「日本海－根室群」は，秋田県沿岸を主産卵場とし青森県以南を回遊する「日本海北部系群（日本西岸群）」と，朝鮮半島東岸に産卵場があり鳥取県や島根県沖まで回遊してくる「日本海西部系群（朝鮮半島東岸群）」に分かれると考えられている（Shirai et al., 2006）。また，白井ほか（2007）は，2004年に太平洋岩手県沖で採集されたハタハタの起源を日

本海北部系群の2001年級群と推定し、岩手県沖には量的には多くないものの、日本海北部系群と太平洋群の2つの起源からハタハタが移入する可能性を示した。また秋田県と岩手県の中間に位置し、日本海、津軽海峡、太平洋に三面する青森県における本種の生息については、おもに日本海に生息し(塩垣, 1982)、津軽海峡沿岸では過去の産卵記録は残っているが稀であり(野村・塩垣, 1992)、陸奥湾では本種の生息は確認されていない(塩垣, 1982)。

ハタハタ仔稚魚の初期生活史については、これまでに南・田中(1985)が新潟県信濃川河口での体長や食性を報告しており、杉山(2002)は秋田県沿岸では12月に水深0.5–3.8 mのホンダワラ類に卵塊が産み付けられることや、仔魚が2–3月に孵化すること、仔稚魚がおもに甲殻類や多毛類を捕食することを報告している。また森岡(2002a)は、海面網生簀内に天然餌生物を蜆集させた場合の食性や成長・生残について明らかにしている。一方、ハタハタ仔稚魚の耳石微細輪紋を用いた成長解析については、飼育実験によって仔稚魚の礫石に形成される輪紋が日周輪であること(Tsukamoto and Shima, 1990)、輪紋幅の測定から体長の逆算が可能であること(Tsukamoto et al., 1991)、卵仔魚期に比較的低水温を経験する太平洋群では、礫石よりも扁平石の方が広い輪紋が形成されるため輪紋数の過小評価が生じにくいこと(吉村ほか, 2009)が明らかにされている。しかし、天然稚魚の孵化日組成や成長履歴を明らかにした研究はこれまでにない。耳石日周輪を用いた成長解析は、個体群の孵化日組成の推定や、資源量変動が生じやすい魚類の初期生活期の生残過程を解明する上で有効な手法のひとつである(例えば、Joh et al., 2005, 2009)。本研究は、陸奥湾にはハタハタ成魚は分布しないにもかかわらず稚魚が生息する年があることを示し、その孵化日組成や耳石輪紋幅を明らかにすることで、稚魚の起源と陸奥湾への輸送過程、成長履歴を検討し、本種的生活史特性を解明することを目的とした。

材料および方法

ハタハタ稚魚採集と野外調査 調査は青森県陸奥湾において1991年から2010年の各年6月の昼間に、北海道大学水産学部附属練習船うしお丸(179トン)を用いて行われた。ただし1992年と1998年は代船建造や荒天のためデータはない。

また2005年については5月30日から6月2日に実施されたが、6月のデータとして扱った。これらの調査は、おもにマダラ *Gadus macrocephalus* やスケトウダラ *Theragra chalcogramma* の初期生活史研究や、異体類の資源量変動機構の解明のための調査(高津ほか, 1992; Takatsu et al., 2001; 高津, 2004, 2005)として継続的に行われてきたものである。ハタハタ稚魚の採集は湾内7地点で幼魚用トロール網(網口4.4 m × 5.9 m, 網口目合90 mm, 袋網目合12 mm: 前田ほか, 1979; 中谷, 1987; 高津, 2005)の着底曳き(船速3.0 knot, 曳網時間15–30分間)によって行われた(Table 1, Fig. 1)。各地点で採集された稚魚の個体数を計数後、無作為に約200個体(採集尾数が少ない場合には全数)を抽出し、直ちに7%の中性海水ホルマリン溶液で固定し、硬組織の脱灰を防ぐために24時間後に70%エタノール中に移し替えて保存した。ただし2010年に採集された稚魚については、耳石日周輪解析のために採集後直ちに凍結して研究室にもち帰った。各採集地点における水温と塩分については、CTD(SeaBird Electronics Inc., SBE-19plus)を用いて海面から海底上約2 mまでを測定した。なお本研究では調査水域を便宜上、Stn.12が含まれる湾口部、Stn.13, 19, 30が含まれる西湾、Stn.38, 43, 50が含まれる東湾に区分した(Fig. 1)。

日本海北部系群の主産卵場である秋田沿岸の水温の季節変化とその年変動を調べるために、秋田県椿漁港(Fig. 1)の水深5 m層に水温ロガー(Onset Computer Corp., HOBO Water Temp Pro v2)を設置して1時間毎に記録し、2008–2010年の1月1日から6月9日の期間の24時間平均水温を求めた。なお2008年2月29日のデータは用いなかった。

体長測定および耳石処理 実験室において、稚魚の標準体長(SL)を電子ノギスにより0.1 mm単位で測定した。ホルマリン固定およびエタノール保存した稚魚の標準体長については、2010年6月に別途採集して、固定後30日目まで数日毎に繰り返し体長を計測して体長が安定した後の収縮率(4.0%: 2–30日後の平均値)で補正を行い、採集時の標準体長に還元した。

2010年に採集されたハタハタ稚魚について耳石解析を行った。1個体しか採集されなかった東湾Stn.43をのぞいた6地点で、採集された稚魚から各7–13個体をランダムに抽出し(Table 2)、実体顕微鏡下で左右の礫石(lapillus)を摘出し、凸

面を上にしてスライドガラス上にエナメル樹脂を用いて包埋した。耳石を耐水サンドペーパー（1500 番）およびラッピングフィルム（粒度 9.0 μm ）を用いて核が明瞭に観察できるようになるまで研磨した。本研究では耳石直径約 54 μm のチェック（通常よりも太く見える輪紋：Fig. 2B）を孵化輪とみなし（Tsukamoto and Shima, 1990），このチェックから外側の輪紋数を計数した。生物顕微鏡にマウントされた CCD カメラからパソコン上に耳石の画像を取り込んだ後，耳石日周輪解析ソフト（ラトックシステムエンジニアリング社，ARP Ver. 5.27）を用いて輪紋数の計数と，孵化輪の直径や各輪紋までの輪紋径（核の中心から輪紋までの直線距離）の計測を行った。輪紋径の計測軸については，輪紋が明瞭な長軸方向に設定した（Fig. 2A）。

データ解析 稚魚の孵化日は個体ごとに採集日から日齢を減じて推定された。孵化日の採集地点グループ間の比較には，比較的少数の標本サイズであることを考慮してノンパラメトリックなシェフェの多重比較を用いた。本研究では過去の成長率の指標として，輪紋径から体長を推定する際に生じる誤差を排除するために体長の逆算は行わず，孵化チェックから輪紋 5 本ごとの平均輪紋幅をそのまま用いた。稚魚の平均体長の採集地点グループ間の比較には，パラメトリックなシェフェの多重比較を用いた。

陸奥湾における稚魚の豊度は面積－密度法で求めた。具体的には，各地点でのオッターロール網の網口幅（5.9 m）と曳網距離，採集個体数から単位面積（1 km^2 ）あたりの個体数を求め，水深 20 m 以深の海域の面積を地点ごとに乗じて累

Table 1. Surveys conducted in Mutsu Bay in June from 1991 to 2010 and the number of sandfish (*Arctoscopus japonicus*) juveniles collected

Sampling year	Number of tows	Number of sampling stations	Number of juveniles collected
1991	5	5	0
1992	—	—	—
1993	6	6	0
1994	7	7	0
1995	6	6	0
1996	7	7	0
1997	7	7	0
1998	—	—	—
1999	6	6	0
2000	6	6	0
2001	7	7	0
2002	7	7	0
2003	7	7	200
2004	7	7	35
2005	8	8	10
2006	10	7	211
2007	7	7	1
2008	11	7	27
2009	11	7	1,811
2010	11	7	7,762

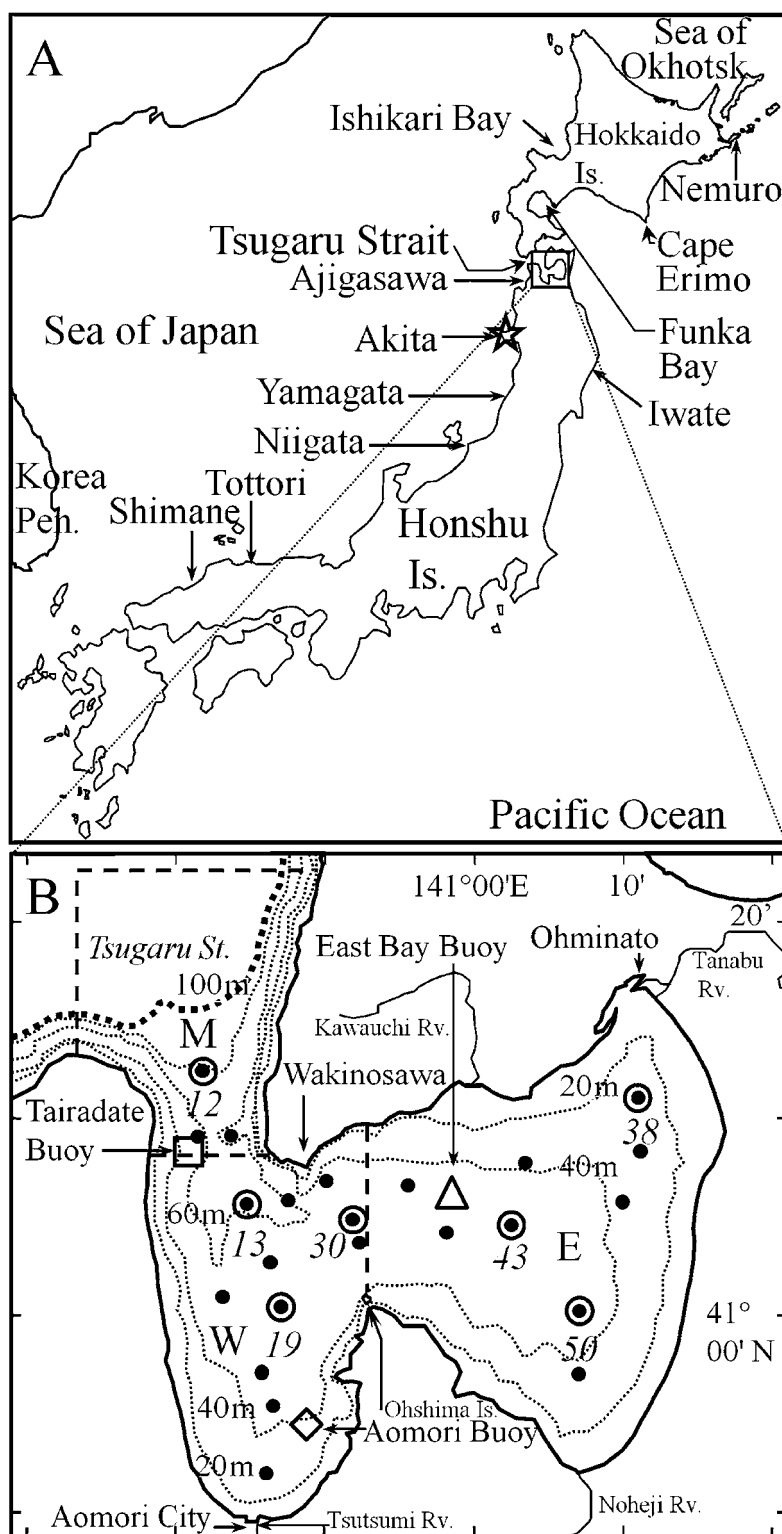


Fig. 1. Map of Japan (A) and Mutsu Bay with isobaths (B). Open star in A indicates location of water temperature data logger deployed at Tsubaki Port. Open circles in B indicate sampling stations at which Japanese sandfish juveniles were collected with an otter trawl net in June from 2003 to 2010; italicized numerals indicate station numbers. Solid circles indicate CTD measurement stations in June 2010. Open square, open triangle and open diamond indicate locations of continuous monitoring buoys. Mutsu Bay was divided into three regions: bay mouth (M), West Bay (W) and East Bay (E: east part of Ohshima Island). Four major rivers flowing down to Mutsu Bay are shown in B.

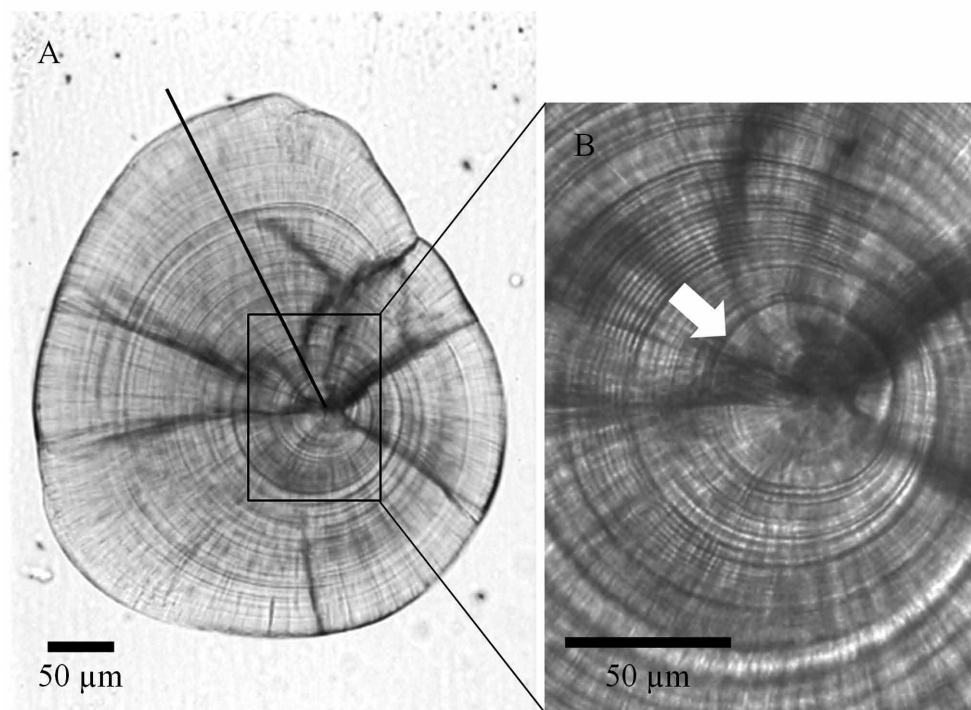


Fig. 2. Lapillar otolith of a sandfish juvenile (53.4 mm *SL*). Solid line in A indicates measurement axis for measuring increment widths. Arrow in B indicates hatch check.

Table 2. Data for sandfish (*Arctoscopus japonicus*) juveniles collected by otter trawl in Mutsu Bay from 6–9 June 2010

Station number	Number of tows	Number of juveniles collected	Range of standard length (mm)	Number of juveniles used for otolith analysis
12	1	9	44.7–55.8	7
13	1	4,363	46.2–58.7	13
19	2	413	41.8–60.0	8
30	2	2,804	45.4–62.7	10
38	2	118	32.4–49.3	8
43	1	1	54.2	0
50	2	54	41.1–55.8	8

計し、年ごとに推定した。この時トロール網の採集効率を1と仮定し、網口幅の内側に生息した稚魚はすべて採集されるものとみなした。また同一地点で複数回の採集を行っている場合、それらの平均豊度を用いた。なおハタハタ稚魚は、少なくとも秋田沖では5月中旬から7月中旬に昼間は海底上に生息し、中層域では採集されないことが確認されている（奥山，2007；杉下，2008；甲本・工藤，2010）。

陸奥湾で6月に採集されたハタハタ稚魚が日本海北部系群に由来する可能性を検討するために、日本海北部系群の産卵が想定される新潟県、山形県、秋田県、青森県のうちもっとも産卵が多い秋田県における9–11月のハタハタ成魚沖合底曳網漁船による漁獲量（秋田県漁業協同組合資料を集計）をその年の産卵成魚の量的指標とみなし、翌年6月の陸奥湾の稚魚豊度との関係を調べた。なお秋田県ではハタハタの漁獲量規制を行っているが、底曳網漁は9月に解禁となり、多くの年には翌年6月まで規制量に達しなかったため禁漁には至っていない。しかし、2006年と2007年には12月中旬に漁獲枠を使い切り操業を控えたため、本研究では9–11月の漁獲量を使用した。さらに、陸奥湾に近い青森県の日本海に面する各漁業協同組合が1985–2009年に水揚げしたハタハタの年間漁獲量について、各漁業協同組合および農林水産省東北農政局から聞き取り、集計した。なお、2008–2010年の青森県日本海側でのハタハタ漁獲量のうち96.6–98.8%が産卵期の12月における沿岸漁獲量であり（青森県，2011）、漁獲量規制は行われていない。

ハタハタの2003–2010年級群について、産卵から稚魚期に陸奥湾に加入するまでの生残と移入の量的割合の指標として、海況との因果関係の解析に有用な加入量指数の対数値（LNRPS: Yatsu et al., 2005）を求めた。

$$\text{LNRPS}_t = \ln(R_t/S_{t-1})$$

ここで R_t は t 年における面積－密度法によって推定された6月の陸奥湾内の稚魚の推定個体数、 S_{t-1} は t 年の前年における成魚漁獲量（kg単位）で、前述の秋田県沖合の9–11月漁獲量と青森県沿岸の漁獲量を用いた。

陸奥湾への津軽暖流水の流入量の指標として、2003–2010年6月に稚魚採集を行った地点のCTD観測による海底直上水温の平均値を求めた。また陸奥湾の稚魚の生息環境の経時変化を知るために、陸奥湾内3地点（平舘，青森，東湾）の7日

ごとの底層（海底上1–2 m）水温を自記観測ブイのデータ（青森県産業技術センター水産総合研究所，2011）から引用した。引用期間は2010年1月6日から6月9日で、東湾ブイは2月25日まで欠測だったため3月3日から6月9日のデータのみ用いた。

結 果

水温塩分の水平分布 2010年6月の海底直上には、湾口部西側から西湾南部にかけて水温9℃以上、塩分33.6以上の高温高塩分水が、東湾から湾口部東側には水温8℃以下塩分33.4以下の低温低塩分水がそれぞれ分布し、湾口部から東湾にかけて明瞭な水温・塩分前線が形成されていた（Fig. 3）。水温は、湾口部に近い脇野沢南西沖の7.1℃から青森市沿岸の10.8℃までの範囲を示し、塩分は東湾北部大湊沿岸の33.30から西湾中央部西側地点の33.94までの範囲を示した。

ハタハタ稚魚の分布および体長組成と採集地点の平均海底直上水温 ハタハタ稚魚は1991–2002年には着底トロールではまったく採集されず、2003–2010年に採集された（Table 1）。2010年6月のハタハタ稚魚の密度（1 km² 曳網当たりの個体数）は、湾口部に近い西湾 Stn.13 で492.4・10³ 個体 /km²、西湾脇野沢沖 Stn.30 で158.7・10³ 個体 /km² を示し、2003年から2010年までの調査期間中最高と2番目に高い密度を示した（Fig. 4）。また湾口部 Stn.12 では0.7・10³ 個体 /km²、低水温であった東湾 Stn.38, 43, 50（Fig. 3）ではそれぞれ6.1・10³、0.1・10³、3.3・10³ 個体 /km² を示し、いずれも他地点に比べて低密度であった。2009年6月についても比較的多くの稚魚が採集されたが、2010年とは異なり、東湾 Stn.38 でもっとも高い密度を示した（89.5・10³ 個体 /km² : Fig. 4）。2003–2008年には稚魚の密度は2009–2010年ほど高くなかった。2003–2010年6月に陸奥湾で稚魚採集が行われた地点の平均海底直上水温と、面積－密度法によって推定し対数変換された稚魚豊度との間には有意な相関はみられなかった（ $n=8$, $P=0.52$ ）。

成魚漁獲量と陸奥湾稚魚豊度の関係 秋田県沖合では、1992年9月から1995年10月までハタハタ漁が禁漁であったため（杉山，1998）、この間の漁獲量は0である。禁漁前の1990–1991年および解禁後の1995–2009年の9–11月における秋田沖合での漁獲量は、それぞれ13–26 tおよび

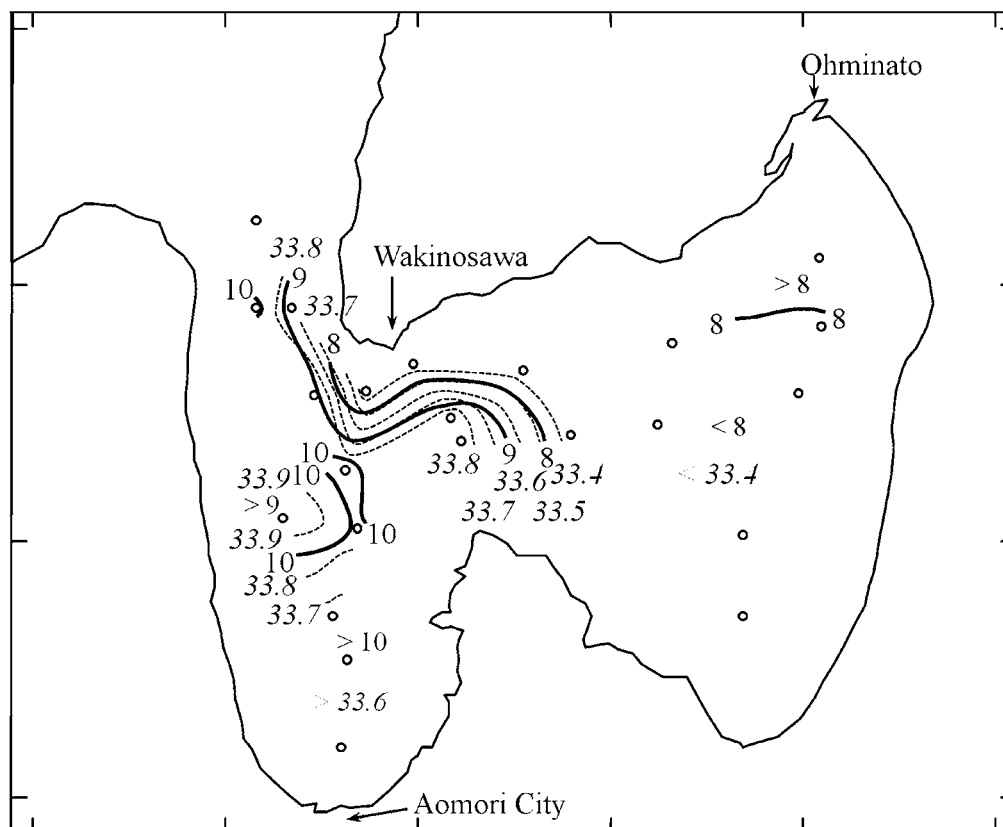


Fig. 3. Horizontal distributions of water temperature (solid lines; °C) and salinity (broken lines) 2 m above the bottom in Mutsu Bay from 6–9 June 2010.

25–723 tであった (Fig. 5). 対数変換 ($\log(x+1)$) された 2002–2009 年の秋田県沖合の成魚漁獲量と、対数変換された 2003–2010 年の陸奥湾の稚魚豊度との間には有意な相関はみられなかった ($n=8$, $P=0.26$). 秋田県沖合での前年 9–11 月の漁獲量が 186 t 以上の場合に限り、稚魚は陸奥湾で採集された。

1990–1991 年と 1995–2009 年の周年にわたる青森県日本海沿岸のハタハタ漁獲量 (ほとんどは産卵期の 12 月の漁獲量) は、それぞれ 4–12 t と 2–1,363 t であった (Fig. 5). 対数変換された 2002–2009 年の青森県の漁獲量と、対数変換された 2003–2010 年の陸奥湾の稚魚豊度との間には有意な相関はみられなかった ($n=8$, $P=0.38$). 青森県沿岸での前年の漁獲量が 161 t 以上の場合に限り、稚魚は陸奥湾で採集された。

2002–2009 年の 9–11 月の秋田県沖合の成魚漁獲量は、2005 年には最小の 186 t を、2009 年には最大の 727 t を示し、両者の差は 3.9 倍であった。また期間中の相対的なばらつきの程度を示

す変動係数 ($= \text{標準偏差} \times 100 / \text{平均値}$) は 49% であった。一方、2002–2009 年の青森県沿岸の成魚漁獲量は最大 8.5 倍の差 (最小値 2007 年: 161 t, 最大値 2008 年: 1,363 t), 変動係数は 60% を示し、青森県の方が漁獲量の年変動が大きかった (Fig. 5)。

卵から稚魚までの累積生残率および移入率の指標であり、秋田県沖合の漁獲量を親の量とみなした LNRPS_{Ak} は 2003–2010 年には -3.1 から 5.3 の範囲を示し、2010 年には 8 年間で最高値を、2009 年には 2 番目に高い 3.6 を、2008 年には 6 位の 0.2 を示した。青森県の成魚漁獲量に基づく LNRPS_{Ao} も LNRPS_{Ak} とほぼ同様の -3.2 から 5.2 の範囲を示し、年ごとの順位も LNRPS_{Ak} と類似した傾向を示した。2003–2010 年 6 月における陸奥湾の稚魚採集地点の平均海底水温は、 LNRPS_{Ak} との間には有意な相関を示さず ($n=8$, $P=0.32$), LNRPS_{Ao} との間にも有意な相関を示さなかった ($n=8$, $P=0.47$)。

稚魚の孵化日組成 耳石日周輪解析が行われた

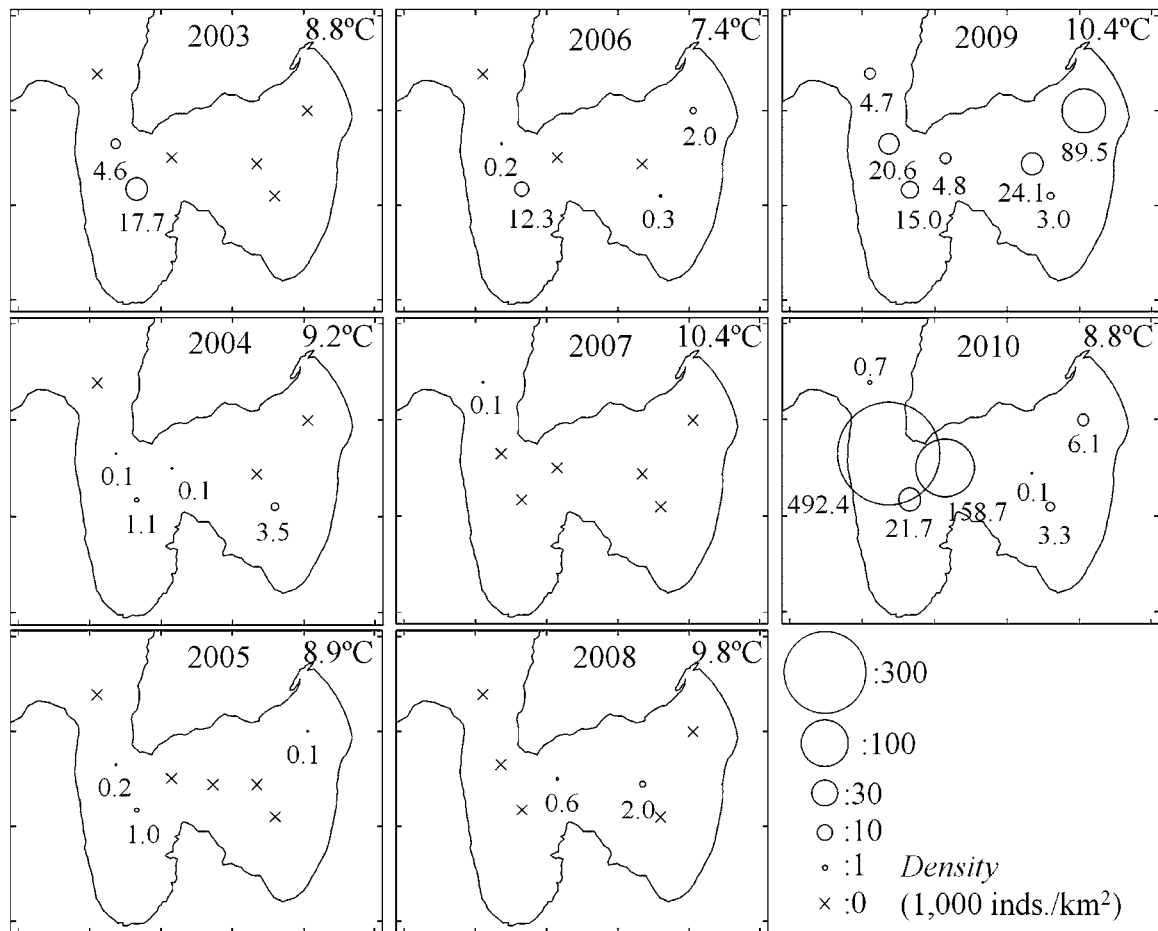


Fig. 4. Horizontal distribution of sandfish juveniles in Mutsu Bay in June between 2003 and 2010 with mean water temperatures of sampling stations. Numerals indicate densities (10^3 individuals/ km^2) collected with an otter trawl net along the sea floor.

2010年6月の稚魚54個体の日齢範囲は100–145日齢であり、平均120.6日齢、中央値120.5日齢であった。孵化日は2010年1月14日から2月27日の範囲を示し、1月に孵化した個体が24%、2月に孵化した個体が76%を占め、2月上旬に孵化した個体が多かった (Fig. 6)。後述する耳石成長率に差がみられた湾口部および西湾のStn.12, 13, 19, 30と東湾Stn.38, 50のグループ間で、孵化日の中央値に有意差はみられなかった ($P=0.36$)。

稚魚の成長履歴 Stn.12, 13, 19, 30の4地点で採集された稚魚の平均輪紋幅は、孵化から66–70日齢まで徐々に増加し、81–85日齢以降減少した (Fig. 7)。一方、Stn.38と50の2地点で採集された稚魚の平均輪紋幅は、孵化から21–25日齢までは他地点と同様に増加していたが、26–30日齢から51–55日齢には徐々に減少し、その後は増加に

転じた。孵化日を基準とした平均輪紋幅を比較すると、両地点で採集された稚魚間の成長差は3月中旬以降大きくなり、5月中旬以降小さくなった。

体長組成 2010年6月のハタハタ稚魚の標準体長の範囲は32.4–62.7 mmを示し、湾口部および西湾のStn.12, 13, 19, 30で比較的大型であったのに対し (平均値±標準偏差: 51.7 ± 3.00 mm SL)、東湾のStn.38, 43, 50では体長は有意に小さかった (43.9 ± 3.23 mm SL, $P=0.018$; Fig. 8)。後者が有意に小さいという傾向は、標本数が比較的多い2006年と2009年にもみられた (ともに $P<0.001$)。

1月から6月の秋田県椿漁港の水温変化 秋田県沿岸の椿漁港内水深5 mの水温は (Fig. 9)、2008–2010年3年間のいずれも2月中旬から下旬に最低を記録し (2008年2月16日: 7.0°C , 2009年2月22日: 7.5°C , 2010年2月18日: 6.9°C)、

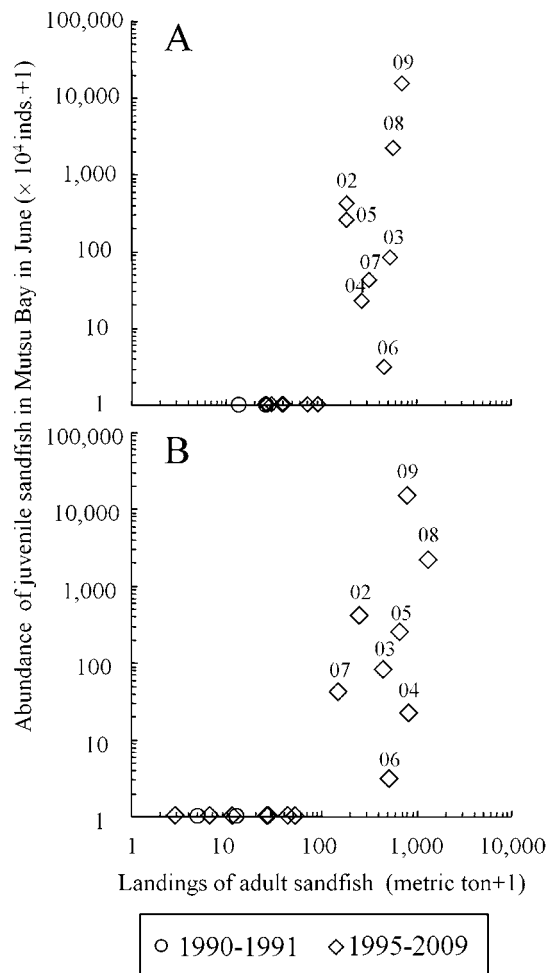


Fig. 5. Relationship between landings of adult sandfish off Akita and Aomori Prefectures in Sea of Japan and abundance of juvenile sandfish in Mutsu Bay in June of the following year. Total adult sandfish landings reported by: A) Akita Fishery Cooperative Association, and B) several cooperative associations along Sea of Japan coast of Aomori Prefecture. Fishing data from 1992–1994 were not used because fishing for sandfish was prohibited off Akita Prefecture from September 1992 to October 1995. Labels indicate years (ending December) from 2002 to 2009.

その後上昇し5月中旬までに14°Cを超えていた(2008年5月5日, 2009年5月10日, 2010年は5月20日)。2月1日から6月9日までの水温を比較すると, 2010年は2008年に比べて平均0.7°C低く, 2009年に比べて平均1.2°C低かった。

考 察

2010年6月の陸奥湾の海洋構造 5月下旬から6月の陸奥湾の水温・塩分には年による差が

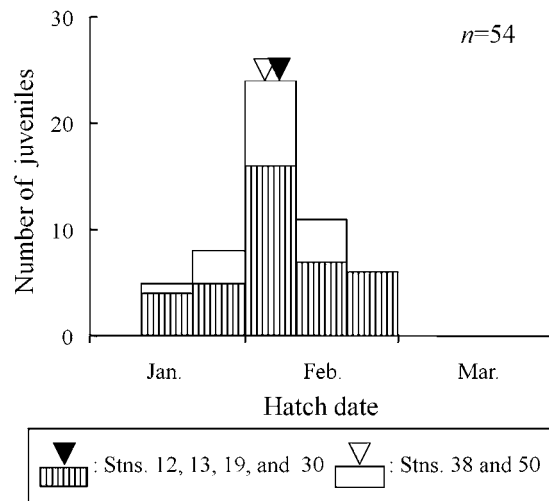


Fig. 6. Hatch date distributions of sandfish juveniles collected from 6–9 June 2010 at stations 12, 13, 19 and 30, and stations 38 and 50 in Mutsu Bay. Inverted triangles indicate locations of median hatching dates (4 and 7 February, respectively; median hatching dates were not significantly different; $P = 0.36$).

あり, 沿岸からの昇温が比較的早い年には脇野沢沖の底層に冷水塊(約9°C未満)が形成されることがある(高津ほか, 1992)。また湾外から流入する高温高塩分の津軽暖流水の流入量には年変動があり, 2010年(Fig. 3)と同様に津軽暖流水が西湾南部だけではなく東湾南西部にも直接流入する年がある(例えば1995年6月: Takatsu et al., 2001)。しかしこの時期の海底上では西湾に比べて東湾は2°C程度低く, 湾口部西側から津軽暖流水が流入し, 冬季から春季には河川水によって希釈された低温低塩分水が東湾から湾口部東側を経て流出する水塊分布様式を示すこと(大谷・寺尾, 1974)が毎年のように確認されており(1989–1990年: 高津ほか, 1992; 1991–1997年: Takatsu et al., 2001), 2010年6月にも陸奥湾は典型的水塊分布を示していた。

陸奥湾で採集されたハタハタ稚魚の起源と移入機構 従来, 陸奥湾内にはハタハタは分布しないとされてきたが(塩垣, 1982), 本研究によって2003年以降, 特に2009–2010年には6月にハタハタの稚魚が陸奥湾に多数分布したことが確認された。秋田県や青森県のハタハタ成魚の漁獲量は近年増加しており(Fig. 5), 稚魚が採集された2003年以降に限った親の量と稚魚の量を比較した結果では有意な相関は得られなかったが, 成魚漁獲量が増加した2002年以降に限って翌年6月

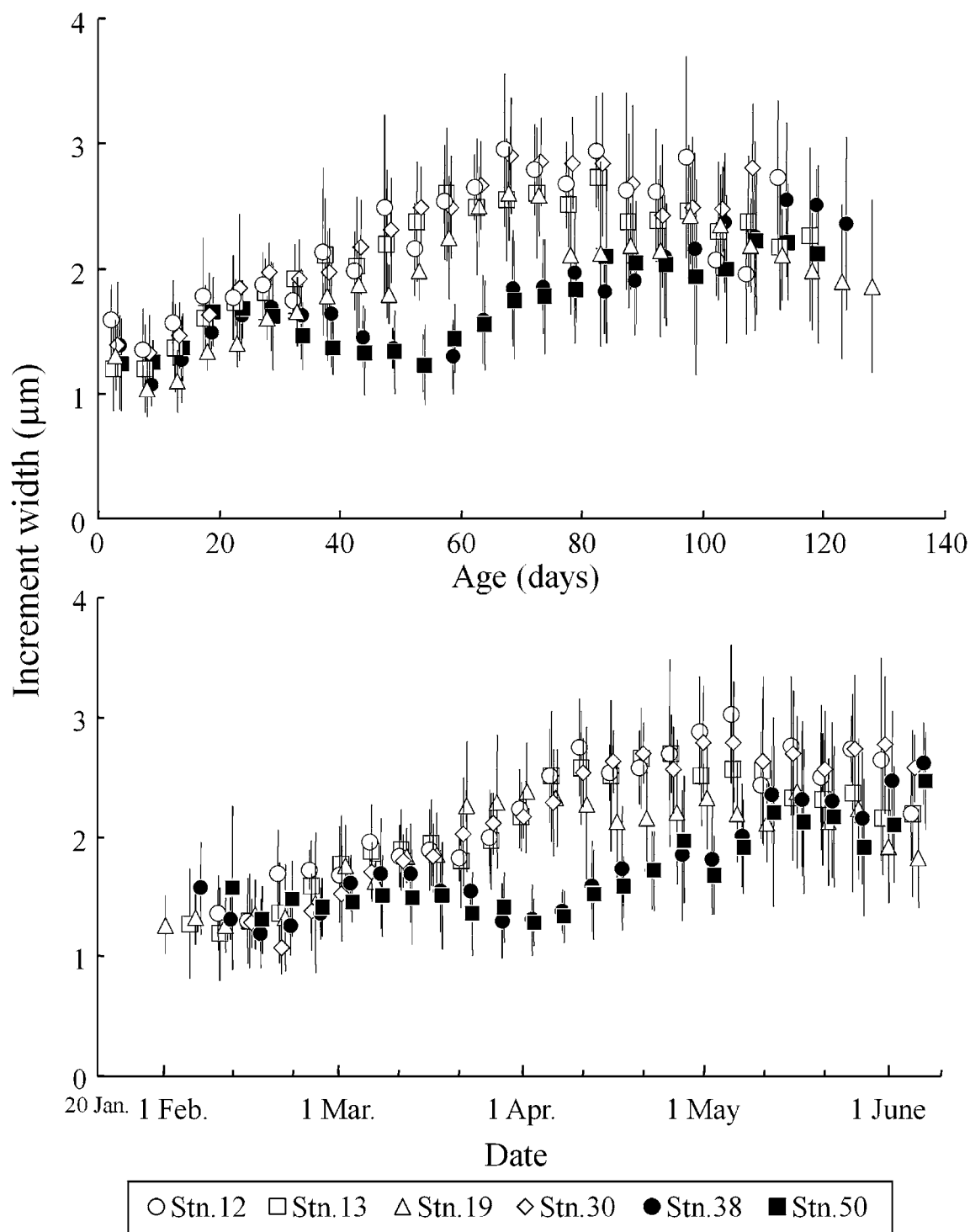


Fig. 7. Mean increment widths every five days from hatch check to edge of lapillar otolith in sandfish juveniles collected at different sampling stations from 6–9 June 2010. Plotted data were based on age (upper) and sampling day (lower). Vertical bars show standard deviations.

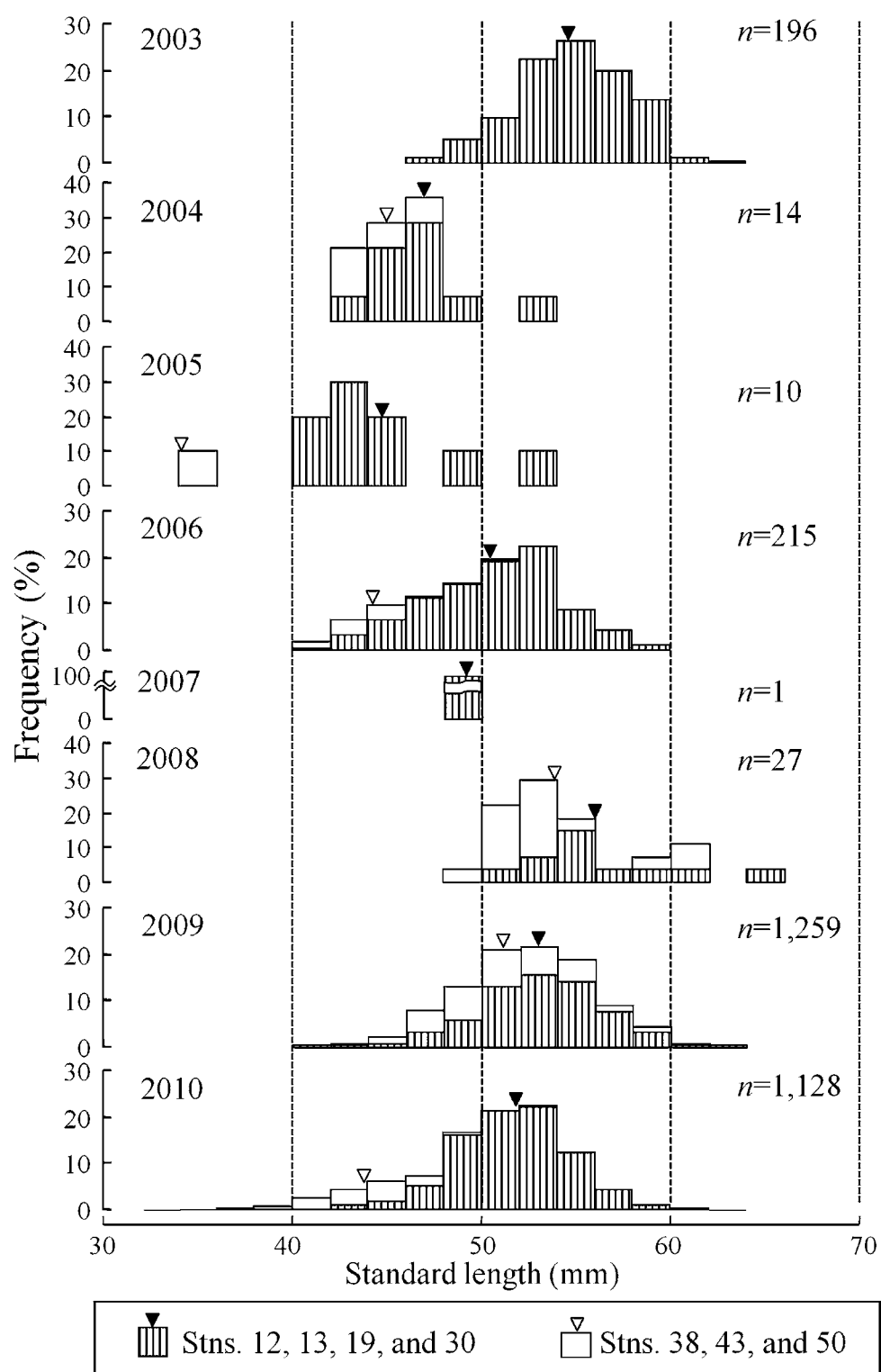


Fig. 8. Standard length distribution of sandfish juveniles collected in Mutsu Bay in June between 2003 and 2010. Inversed triangles indicate locations of mean standard lengths.

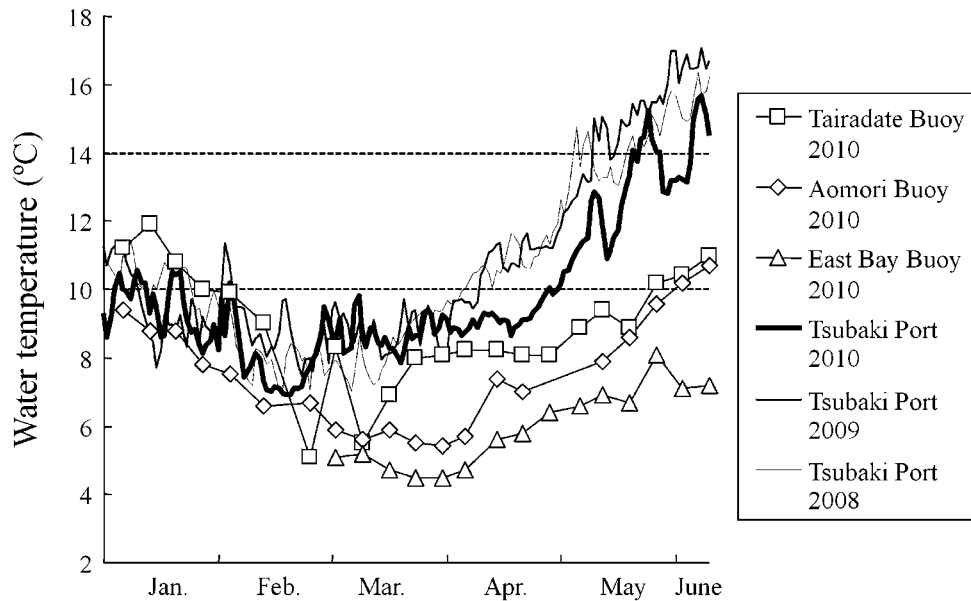


Fig. 9. Seasonal changes in water temperature at the 5 m depth layer at Tsubaki Port, (1 day interval), 2 m above the sea floor off Tairadate (7 day interval), and 1 m above the sea floor off Aomori and in the East Bay of Mutsu Bay (7 day interval; Aomori Prefectural Industrial Technology Research Center, Fisheries Research Division).

に陸奥湾でハタハタ稚魚が採集されていた。日本海の本州北部沖合を北上した対馬暖流は周年、一部は北海道沿岸をさらに北上し、他は津軽海峡に入って津軽暖流と名前を変え、一部は陸奥湾に流入するが多くのまま津軽海峡を東進し（大谷・寺尾，1974），噴火湾から襟裳岬沖，青森県太平洋沿岸から岩手県北部沿岸まで達する（杉本，1985）。このため太平洋の水塊や日本海北海道沿岸の水塊が直接陸奥湾に流入することはない（大谷・寺尾，1974），北海道周辺で孵化した遊泳力の乏しいハタハタ仔稚魚が陸奥湾に流入する可能性は低いだろう。柳本（2004）は日本海－根室群がひとつの大きな集団を形成する原因として、この集団は対馬暖流とその続流である宗谷暖流に含まれることを指摘している。白井ほか（2007）は、直接海流系との関係については論じていないが、2004年に太平洋岩手県沖で採集されたハタハタの起源を資源量が大きかった日本海北部系群の2001年級群と推定した。また星野（2011）は、國廣（2004）や白井ほか（2007）の知見を引用した上で、日本海北部系群が例えば石狩湾などの対馬暖流およびその続流域まで拡散する可能性を指摘している。本研究が行われた陸奥湾は、海流系から判断して秋田県と岩手県の中間に位置するた

め、近年陸奥湾でみられるハタハタ稚魚は日本海北部系群が起源である可能性が高く、本州北部日本海沿岸で産卵・孵化した個体と推定され、成魚に比べて遊泳力の乏しいハタハタ仔稚魚は対馬暖流および津軽暖流によって輸送され、陸奥湾に流入したものと考えられる。また2002–2009年9–11月の秋田県沖合におけるハタハタの成魚の漁獲量の年変動と、ほぼ12月のみハタハタを漁獲している青森県沿岸の漁獲量の年変動を比較すると、後者の年変動が大きい。このことから、産卵場は秋田県が主体であるが、親の量が多い年には陸奥湾に近い青森県沿岸まで産卵場が拡大し、陸奥湾での稚魚増加の一要因になったものと思われる。秋田県と陸奥湾の中間に位置する青森県深浦町岩崎や鰯ヶ沢町の沿岸では、ハタハタの漁獲量が増加し始めた2001–2003年に、精子により海面が白くなる「くき」がみられるようになったことが報告されており（吉田，2005），この産卵場の拡大を裏付けている。

一方、陸奥湾の6月の稚魚豊度を秋田沿岸や陸奥湾の水温と比較すると、2008–2010年の間では年を追うほど高豊度となり、生残率および移入率の指標となる $LNRPS_{Ak}$ や $LNRPS_{Ao}$ も年を追うほど高くなったが、秋田県沿岸の平均水温は

2008–2010 年の 3 年間では 2010 年がもっとも低く、2009 年がもっとも高かった (Fig. 9). また津軽暖流水の流入量の指標となる 2003–2010 年 6 月の陸奥湾の海底直上水温と稚魚豊度との間には明瞭な相関関係はなく (Fig. 4), 同水温は LNRPS_{Ak} や LNRPS_{Ao} との間にも相関がなかった. したがって仔稚魚の陸奥湾への輸送量やその輸送中の生残過程は水温ではうまく説明できなかった. 以上のように、陸奥湾で高い稚魚豊度を示す条件としては、青森県沿岸への産卵場の拡がりをとともなう親の豊度が高いことに加えて、仔稚魚の陸奥湾への高い移入率および高生残率も必要であることが明らかとなったが、後者が高まる条件の特定には至らなかった.

陸奥湾で採集されたハタハタ稚魚の孵化日の推定 杉山 (2002) は秋田県北浦沿岸において天然卵塊の孵化状況調査を行った結果、1989 年には 1 月 27 日以降 2 月 6 日以前に孵化が始まり、2 月下旬に孵化の盛期を迎え、3 月 14 日以降に孵化が終了したことを明らかにしており、本研究の稚魚から推定した孵化時期よりも若干遅い. しかし、同じ産卵場においても孵化時期に年変動があり、筆者の 1 人が 2010 年に同水域で行ったハタハタの産卵場調査では、1 月 12 日にはまだ仔魚は採集されなかったが 2 月 15 日には水深 5–30 m 地点で多数の仔魚が採集され、1 月 31 日と 2 月 2 日には孵化が始まっている卵塊を確認している (甲本, 未発表). この結果は、陸奥湾の稚魚の 2010 年 1 月 14 日から 2 月 27 日までの孵化日の範囲と矛盾せず、近年陸奥湾でみられるハタハタ稚魚の起源が、本州北部日本海沿岸で産卵・孵化した個体である可能性を支持している. 一方、高齢な稚魚の方が若齢の稚魚よりも採集時までの累積生残率は低いため、仔稚魚の日齢組成から単純に逆算した孵化盛期よりも実際の孵化盛期は早く、さらに高齢魚の累積生残率が若齢魚のそれよりも低ければ低いほど推定盛期は早期にずれる (mortality effect: Yoklavich and Bailey, 1990). つまり稚魚の日周輪から推定した孵化盛期と、実際の産卵場での孵化盛期を正確に比較するためには、仔稚魚期を通じた生残率の推定が必要である. 2010 年 6 月に陸奥湾で採集された稚魚から単純に逆算した孵化盛期は 2 月上旬であったことから、これらの稚魚の実際の孵化盛期は 2 月上旬かそれ以前であり、少なくとも 1989 年の 2 月下旬より早い. 以上のように 2010 年に陸奥湾で採集された稚魚の起源が秋田沿岸で産卵された個体であれば、そ

の孵化時期の範囲に矛盾はない. また孵化盛期は 1989 年よりも早期であったが、この早期化の原因は不明である.

陸奥湾のハタハタ稚魚の成長様式に地理的変異が生じた理由 2010 年 6 月の稚魚の採集時体長は湾口部および西湾で大きく、東湾で小さかった (Fig. 8). 一方、2010 年の孵化日は湾口部および西湾と東湾の間で差はなかったことから (Fig. 6), 採集地点による体長の差は孵化時期の相違に起因するとは考えにくく、むしろ採集されるまでの成長率の相違を反映した結果と推定される. 秋田県沿岸の水温は 2 月中旬から下旬に最低水温を記録したが、陸奥湾全体の水温はそれより遅い 3 月中旬から下旬が 1 年でもっとも低くなる時期であり (大谷・寺尾, 1974), 2010 年には産卵場が形成される秋田沿岸との水温に比べて 2–4°C 程度低かった (Fig. 9). この現象は津軽暖流の流入経路を示しており、3 月から 6 月の昇温期には上流にあたる秋田県沿岸に比べて下流にあたる平館ブイや青森ブイ、最下流にあたる東湾ブイの順に低い水温を示す. また東湾は西湾に比べて海水更新に長期間を必要とするため、早期に流入した低水温の水塊が遅い時期まで残存する (大谷・仲村, 1985). Tsukamoto et al. (1991) は飼育下の 31–52 日齢のハタハタ稚魚では水温 10–14°C で成長が速かったことを示している. 東湾 2 地点で採集されたハタハタ稚魚は、3 月中旬には日本海に比べて水温が低い陸奥湾にすでに生息したため、低成長率 (Fig. 7) を示したのと考えられる. 一方西湾や湾口部で採集された稚魚は、3 月中旬以降 4 月から 5 月上旬頃まで、比較的高水温な上流域に留まっていたために高成長率を示し、遅れて陸奥湾に流入したのと考えられる. その後 5 月中旬以降は昇温により、陸奥湾内の水温はいずれも成長が速い 10–14°C に近づくことから (Figs. 3, 9), 採集地点の相違による成長量の差は小さくなったのかもしれない (Fig. 7). また 2009 年や 2006 年に生息した稚魚も 2010 年と同様に東湾で採集された個体の方が小型であったことから (Fig. 8), 対馬暖流および津軽暖流による稚魚の移送量や稚魚が経験した生残率には年による差があるものの、この早期に流入した個体が低成長率を示す傾向は、他の年にも生じる現象と推定される.

陸奥湾にハタハタが周年生息しない理由 今回の調査で、陸奥湾にはハタハタ稚魚が流入する年があることが明らかになったが、成魚はこれまでにまったく採集されていない. 飼育下のハタハ

タ仔稚魚は 13°C を超えると呼吸量が急激に低下し (森岡, 2002b), 14°C 以上で成長が停滞する (Tsukamoto et al., 1991). 陸奥湾の底層の年最高水温は, 秋季にハタハタが生息できない 17°C を超えるため (大谷・寺尾, 1974), 湾内に周年生息することはできないのだろう.

ところで秋田沖の他に日本海北部系群の産卵が確認されている青森県鮭ヶ沢沿岸 (塩垣, 1982) や新潟沖 (南・田中, 1985) などでは, 詳細な孵化状況や仔稚魚の出現時期を確認する調査は行われていない. したがって今後, 各産卵場での孵化日の盛期や仔稚魚の孵化日組成および成長履歴の年級群比較を行い, 孵化時期選択的な生残過程や輸送過程も検討する必要がある. また, ハタハタ稚魚の食性や餌生物豊度の季節変化を明らかにすることで, 水温や餌生物豊度が成長に与える影響を比較・検討する必要がある.

謝 辞

本論文の標本採集に多大なご協力をいただいた北海道大学水産学部附属練習船うしお丸の乗組員の方々に対して, 厚く御礼申し上げます. 本研究を進めるにあたり, 御助言を賜りました北海道立総合研究機構網走水産試験場研究職員の城 幹昌博士に深く感謝いたします. また, 本研究におけるサンプル採集やデータ処理, その他さまざまな場面において多大な御協力をいただいた研究生の小山智行氏, 資源生物学分野資源生産学領域大学院生各位と, 同領域の 4 年生諸氏に対し, 心より厚く感謝いたします.

引用文献

- 尼岡邦夫. 1984. ハタハタ. 益田 一・尼岡邦夫・荒賀忠一・上野輝彌・吉野哲夫 (編), 解説 p. 213. 日本産魚類大図鑑. 東海大学出版会, 東京.
- 青森県. 2011. 青森県水産情報: http://www.pref.aomori.lg.jp/sangyo/agri/suisan_top.html (参照 2011-7-12).
- 青森県産業技術センター水産総合研究所. 2011. 陸奥湾海況情報: <http://www.aomori-itc.or.jp/index.php?id=1487> (参照 2011-6-25).
- Chereshnev, I. A. and M. V. Nazarkin. 2002. On the occurrence of Japanese sandfish *Arctoscopus japonicus* (Trichodontidae) in the region of Tauisk Bay of the Sea of Okhotsk. *J. Ichthyol.*, 42: 683-686.
- 星野 昇. 2011. ハタハタの生物・生態的特徴. 北

- 海道総合研究機構水産研究本部中央水産試験場 (編), pp.1-16. 北海道のハタハタ資源, 技術資料 No.7. 北海道総合研究機構水産研究本部中央水産試験場, 余市.
- Joh, M., T. Takatsu, M. Nakaya, T. Higashitani and T. Takahashi. 2005. Otolith microstructure and daily increment validation of marbled sole *Pseudopleuronectes yokohamae*. *Mar. Biol.*, 147: 59-69.
- Joh, M., T. Takatsu, M. Nakaya, N. Yoshida and M. Nakagami. 2009. Comparison of the nutritional-transition-date distributions of marbled sole larvae and juveniles in Hakodate Bay, Hokkaido. *Fish. Sci.*, 75: 619-628.
- 小林時正・加賀吉栄. 1981. 北海道周辺海域のハタハタの産卵群の計数形質変異から推定される系統群構造について. 北海道区水産研究所研究報告, 46: 69-83.
- 甲本亮太・工藤裕紀. 2010. 水産資源変動要因調査. 秋田県農林水産技術センター水産振興センター (編), pp. 63-70. 平成 20 年度秋田県農林水産技術センター水産振興センター事業報告書. 秋田県, 秋田.
- 國廣靖志. 2004. 江差でハタハタ釣獲. 北水試だより, 66: 23.
- 前田辰昭・中谷敏邦・高橋豊美・上野元一. 1979. スケトウダラ稚仔の沿岸水域での生活. 水産海洋研究, 34: 81-85.
- 南 卓志・田中 實. 1985. アカヒゲ漁で漁獲されたハタハタ稚魚. 日本海区水産研究所研究報告, 35: 1-10.
- 森岡泰三. 2002a. プランクトン蜻蛉集ランプを設置した海面網生簀におけるハタハタ仔稚魚の食性. 日本水産学会誌, 68: 526-533.
- 森岡泰三. 2002b. ハタハタ. 日本栽培漁業協会 (編), pp. 96-97. 平成 12 年度日本栽培漁業協会事業年報. 日本栽培漁業協会, 東京.
- 中谷敏邦. 1987. 魚卵・稚仔魚および餌生物の採集法, 海産魚類初期生活史研究の手法. 海洋と生物, 9: 108-110.
- 野村義勝・塩垣 優. 1992. 下北半島牛滝産魚類目録補訂-I. 青森県水産増殖センター研究報告, 7: 1-15.
- 大谷清隆・仲村俊毅. 1985. 陸奥湾, 物理. 日本海洋学会沿岸海洋研究部会「沿岸海洋誌」編集委員会 (編), pp. 178-186. 日本全国沿岸海洋誌. 東海大学出版会, 東京.
- 大谷清隆・寺尾豊光. 1974. むつ湾の海洋構造. 北海道大学水産学部研究彙報, 24: 100-131.
- 沖山宗雄. 1970. ハタハタの資源生物学的研究-II. 系統群 (予報). 日本海区水産研究所研究報告, 22: 59-69.
- Okiyama, M. 1990. Contrast in reproductive style between two species of sandfishes (family Trichodontidae). *Fish. Bull.* 88: 543-549.
- 奥山 忍. 2007. 水産資源変動要因調査. 秋田県農

- 林水産技術センター水産振興センター（編），pp. 35–42. 平成 17 年度秋田県農林水産技術センター水産振興センター事業報告書. 秋田県，秋田.
- 塩垣 優. 1982. 青森県産魚類目録. 青森県水産試験場報告，1: 1–36.
- 白井 滋・後藤友明・廣瀬太郎. 2007. 2004 年 2–3 月に得られた岩手沖のハタハタは日本海から来遊した. 魚類学雑誌，54: 47–58.
- Shirai, S. M., R. Kuranaga, H. Sugiyama and M. Higuchi. 2006. Population structure of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* (Trichodontidae), in the Sea of Japan. Ichthyol. Res., 53: 357–368.
- 杉本隆成. 1985. 津軽海峡内の海洋構造. 日本海洋学会沿岸海洋研究部会「沿岸海洋誌」編集委員会（編），pp. 149–154. 日本全国沿岸海洋誌. 東海大学出版会，東京.
- 杉下重雄. 2008. 水産資源変動要因調査. 秋田県農林水産技術センター水産振興センター（編），pp. 32–38. 平成 18 年度秋田県農林水産技術センター水産振興センター事業報告書. 秋田県，秋田.
- 杉山秀樹. 1998. 秋田県におけるハタハタの漁業管理. 北日本漁業，26: 9–14.
- 杉山秀樹. 2002. ハタハタの生物特性. pp. 7–20. ハタハタの生物特性と種苗生産技術，栽培漁業技術シリーズ No. 8. 日本栽培漁業協会，東京.
- 高津哲也. 2004. カレイ類の年級群強度の経年変化とその要因. 月刊海洋，36: 761–765.
- 高津哲也. 2005. 仔稚魚とカイアシ類の食う・食われるの関係—マダラの資源変動を追う. 長澤和也（編），pp. 98–109. カイアシ類学入門—水中の小さな巨人たちの世界. 東海大学出版会，秦野.
- 高津哲也・高橋豊美・中谷敏邦・前田辰昭・大越金蔵. 1992. 陸奥湾におけるスケトウダラ卵および仔稚魚の分布と移動. 日本水産学会誌，58: 2235–2243.
- Takatsu, T., Y. Yoshida, K. Kooka, K. Sugimoto and T. Takahashi. 2001. Spatial and temporal distribution of Pacific cod *Gadus macrocephalus* juveniles in Mutsu Bay, Japan. Bull. Jpn. Soc. Fish. Oceanogr., 65: 6–14.
- 友田 努・堀田和夫・森岡泰三. 2006. 七尾湾および富山湾で放流したハタハタ人工種苗の成育，産卵と移動. 日本水産学会誌，72: 1039–1045.
- Tsukamoto, K. and Y. Shima. 1990. Otolith daily increment in sandfish. Nippon Suisan Gakkaishi, 56: 1083–1087.
- Tsukamoto, K., Y. Shima and J. Hirokawa. 1991. Estimation of early growth history in the Japanese sandfish with otolith microstructure. Nippon Suisan Gakkaishi, 57: 585–589.
- 柳本 卓. 2004. mtDNA の PCR-RFLP 分析によって明らかになったハタハタ集団の地理的分化. 日本水産学会誌，70: 583–591.
- Yatsu, A., T. Watanabe, M. Ishida, H. Sugisaki and L. D. Jacobson. 2005. Environmental effects on recruitment and productivity of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and chub mackerel *Scomber japonicus* with recommendations for management. Fish. Oceanogr., 14: 263–278.
- Yoklavich, M. M. and K. M. Bailey. 1990. Hatching period, growth and survival of young walleye pollock *Theragra chalcogramma* as determined from otolith analysis. Mar. Ecol. Prog. Ser., 64: 13–23.
- 吉田由孝. 2005. 豊かな海づくりに関する現地研修会「ハタハタ栽培漁業の現状と今後の取組」について. 豊かな海，5: 17–19.
- 吉村圭三・筒井大輔・前田圭司・三戸 充・芳賀恒介. 2009. えりも産ハタハタ仔稚魚の日齢と耳石輪紋数の関係. 北海道水産試験場研究報告，76: 21–29.

