

日本系サケ地域個体群におけるふ化放流の現状

高橋 昌也^{*1*2}

Status of hatchery production of chum salmon populations in Japan

Masaya TAKAHASHI^{*1*2}

Abstract: This review paper compared trends of artificial enhancement activities (timing of spawning operations, effective population size, timing of fry releases and body size of released fry) among seven regional populations of chum salmon (Okhotsk, Hokkaido Sea of Japan, Nemuro, East Hokkaido Pacific, West Hokkaido Pacific, Honshu Pacific, and Honshu Sea of Japan) in northern Japan. Seasonal changes of coastal sea surface temperature (SST) in each region were also compared. In 2010, a total of 246 chum salmon hatcheries was operated in northern Japan, and the mean number of fry releases per facility was 7,527 thousand fish. Relatively small hatcheries were abundant in the west Hokkaido Pacific and Honshu Sea of Japan regions. The timing of taking eggs peaked in late October for the Okhotsk and east Hokkaido Pacific populations, and late November for the Honshu Pacific population. The recent effective population size (N_e) exceeded 10,000 adults/year in five river populations (Tokushibetsu, Ishikari, Nishibetsu, Tokachi, and Yurappu) representing each regional population in Hokkaido. Patterns of coastal SST changes during juvenile salmon migration varied among regions: SST increased faster in the Sea of Japan regions than in the Pacific regions. The peak of fry releases was almost stable in late March for the Honshu Sea of Japan population, and in late May for the Okhotsk population, but it fluctuated in other regional populations. The mean body size of released fry increased in three regional populations (Okhotsk, Hokkaido Sea of Japan, and East Hokkaido Pacific), but did not change in other regional populations since 1990s. Future issues to maintain Japanese chum salmon populations are: 1) well understanding the features of each regional population, 2) conserving the diversity of each population, and 3) identifying the best timing of fry releases and their body size in each population to maximize their survival in the ocean.

Key words: artificial enhancement, egg reservation, coastal sea surface temperature, chum salmon, fry release, body size

日本におけるサケ (*Oncorhynchus keta*) の人工ふ化は、1876年に茨城県的那珂川において試みられたのが最初とされており、1888年には北海道の石狩川水系千歳川に「千歳中央ふ化場」が開設され、漁業資源の造成を目的とした本格的な人工ふ化放流事業が始まっ

た(北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会, 1988)。それ以降、サケの人工ふ化放流は北日本の各地で盛んに行われるようになった。

水産資源の変動は、1) 加入, 2) 成長, 3) 自然死亡及び4) 漁業の4つの要素によって決定される

2014年11月14日受理 (Received on November 14, 2014)

^{*1} 独立行政法人水産総合研究センター北海道水産研究所 〒062-0922 札幌市豊平区中の島2条2丁目 (Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, 2-2 Nakanoshima, Toyohira-ku, Sapporo 062-0922, Japan)

^{*2} 現所属: 水産庁増殖推進部研究指導課 〒100-8907 東京都千代田区霞が関1-2-1 (Fisheries Agency of Japan, 1-2-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8907, Japan)

(Russell, 1931)。加入と成長から自然死亡を差し引いたものを自然増加と呼ぶが、自然増加分だけを漁獲している状態であれば、資源量には変化が生じないことになり、資源の維持と漁業生産の両立が可能となる(田中, 1969)。人工ふ化放流は水域に人工的に生産した受精卵や仔稚魚を放流し、加入を直接的に増やすことにより、漁業生産量の増加を図る試みである。

我が国のサケ資源は、1960年代までは300万~500万尾と低い水準で推移していたが、ふ化放流施設整備の推進や新しい放流技術の導入等によって、1970年代に入り増加傾向に転じた(小林, 2009)。1970年代初頭は全国で6億尾程度であったサケ稚魚の放流数も、施設の整備に伴って急激に増加し、1970年代半ばでは約11億尾に倍増し、1980年代の始めには約20億尾に達した。現在、我が国には251水系に246箇所のふ化施設が存在し、約18億尾のサケ稚魚が放流されている(水産総合研究センターさけますセンター, 2010)。我が国に回帰するサケ資源は、この人工ふ化放流が大きく貢献しており(久保, 1988)、資源を持続的に利用していくためには人工ふ化放流の継続が不可欠である。

一方、人工ふ化放流は、サケの生活史初期を人為的なコントロール下に置くことにより、生態的・遺伝的な多様性が失われる危険性がある。サケは自分の受精時期とほぼ同じ時期に回帰・産卵する性質を持つことから(高橋, 2009; 高橋, 2013)、採卵・受精の時期を調整することで人間の都合の良い時期に回帰させることが出来ると考えられている。そのため、採卵数の少ない地域に種卵を補填するための移殖や、回帰時期を考慮した採卵時期の調整等、産業ニーズに応えるための人為的なコントロールが行われてきた(久保, 1988)。しかし、人為的なコントロールが無秩序に行われれば、本来その河川や地域の個体群が有していた特性が失われてしまう可能性がある。例えば、北海道においては、人為的に採卵時期をコントロールしてきた影響で、その上産卵の時期が本来その河川の産卵群の持つ時期とかけ離れた例も報告されている(真山, 1986)。

また、親魚当たりの卵の数に対して精子の数ははるかに多いため、人工受精において作業の効率化が優先されると、卵を採取した雌親魚の数に対し、精子を採取する雄親魚の数が少なくなることがある。繁殖に参加する親の性比が偏ると、自然状態におけるランダムな交配に比べて大きな遺伝的浮動が起これ、遺伝的多様性が損なわれてしまう(Hartl, 1981)。このように、人工ふ化放流は、漁業資源の造成には大きな効果をもたらす反面、人為的なコントロールが無秩序に行われると、生物多様性が損失する恐れもある。

我が国には、7つのサケ地域個体群(オホーツク、

北海道日本海、根室、えりも以東、えりも以西、本州太平洋及び本州日本海)が存在することが1990年代以後に明らかになった(Beacham *et al.*, 2008; 佐藤・浦和, 2015)。これらの個体群は、生息環境に適応しながら獲得してきた地域特性(例えば、降海時期、成長の様式、産卵の時期、成熟年齢など)を有していると考えられる。人工ふ化放流の現場においては、これら地域個体群の特性について十分理解を深め、前述したような人工ふ化放流の持つ危険性を踏まえて、地域個体群の保全に十分配慮すると共に、それぞれの特性を活かした技術の高度化を図っていくことが重要である。

本稿では、人工ふ化放流事業の実施体制(増殖河川、ふ化施設の数や放流数など)、採卵数の時期別割合、集団の有効な大きさ、稚魚放流時期の沿岸水温、稚魚放流数の時期別割合及び放流サイズの動向について、7つの地域個体群毎にその特徴を取りまとめた。

材料と方法

地域区分 我が国には7つのサケ地域個体群が存在することが各種の遺伝分析で示されているが(Beacham *et al.*, 2008; 佐藤・浦和, 2015)、地理的な区域分けは明確には定義されていない。しかしながら、従来から用いられている7つの海域(例えば、水産総合研究センターさけますセンター, 2010)と遺伝分析による地域個体群の分布域が概ね符合することから、本項においては、水産総合研究センターさけますセンター(2010)に従い、それぞれの分布域を次のとおり定めた(Fig. 1)。

- ・オホーツク：北海道の知床岬から宗谷岬に至る間のオホーツク海沿岸
- ・北海道日本海：北海道の宗谷岬から白神岬に至る間の日本海沿岸
- ・根室：北海道の知床岬から納沙布岬に至る間の根室海峡沿岸
- ・えりも以東：北海道の納沙布岬から襟裳岬に至る間の太平洋沿岸
- ・えりも以西：北海道の襟裳岬から白神岬に至る間の太平洋沿岸
- ・本州太平洋：青森県の竜飛岬から茨城県と千葉県の県境に至る間の太平洋沿岸
- ・本州日本海：青森県の竜飛岬から石川県と福井県の県境に至る間の日本海沿岸

人工ふ化放流の実施体制 地域個体群毎に、2010年の放流計画(水産総合研究センターさけますセンター, 2010)に記載されているサケ親魚捕獲水系数、サケ稚

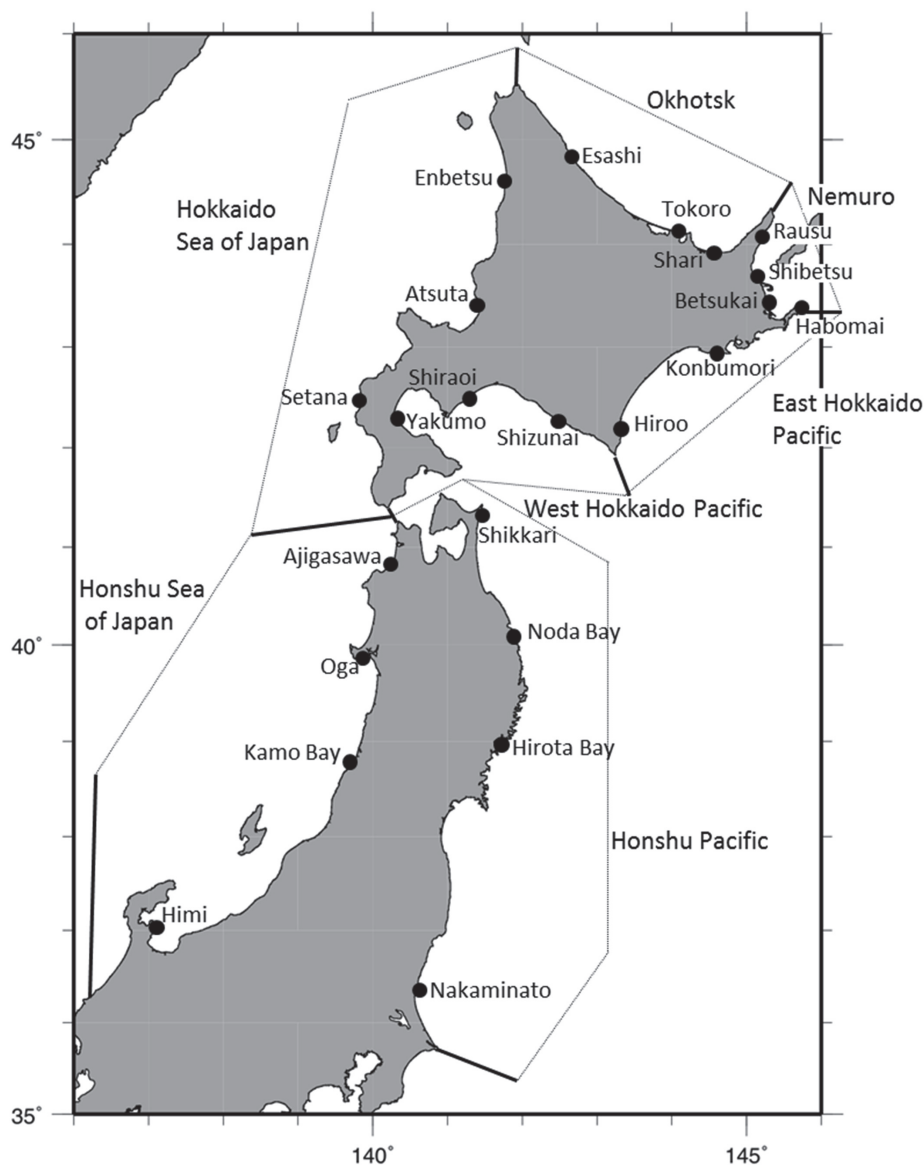


Fig. 1. Map showing boundaries of seven regions in northern Japan, and locations of stations where the coastal seawater surface temperature (SST) was recorded (closed circles).

魚放流水系数およびサケ人工ふ化放流を実施しているふ化施設数（中間育成施設を除く）及びふ化放流の実施主体について取りまとめた。2010年における地域個体群別の放流数はSasaki and Takahashi (2011) より引用した。

採卵時期 各地域個体群における時期別の人工ふ化用の採卵（受精卵）数について、1989年級から2010年級までのデータを用い、便宜的に年級を1989～1990年級（1980年代後半）、1991～1995年級（1990年代前半）、1996～2000年級（1990年代後半）、2001～2005年級（2000

年代前半）及び2006～2010（2000年代後半）年級の5つに区切り、それぞれの区分の平均を用いて時期別の採卵割合を算出した。なお、本州太平洋地域においては1995年級まで、本州日本海地域においては1996年級まで北海道から種卵が移殖されているが、今回はその数を含めて算出した。

集団の有効な大きさ 北海道では、遺伝解析により5地域個体群の存在が明らかになった1990年代より、5河川（オホーツク：徳志別川、北海道日本海：石狩川、根室：西別川、えりも以東：十勝川、えりも以西：

遊楽部川)で地域個体群の保全を目的としたふ化放流を北海道区水産研究所が実施している。これらの河川では、遺伝的な固有性と多様性を維持するため、ふ化放流を行う際に、他河川由来の種卵を移入せず、親魚の人為選抜を行わず、かつ漁獲対象となりにくい時期も含めた産卵時期全体を網羅する形で採卵が行われている。さらに、採卵の際に用いる親魚の集団の有効な大きさ (N_e , Wright, 1931) を十分確保するため、雌親魚の使用数に応じた雄親魚の使用割合を定めて人工受精が実施されている (さけ・ます資源管理センター, 1999)。

繁殖に参加する雌雄の個体数が明確な場合、 N_e は以下の式で算出される。

$$N_e = \frac{4N_m N_f}{(N_m + N_f)}$$

ここで N_m 及び N_f はそれぞれ雄及び雌の使用親魚数である。

北海道の5地域個体群については、各捕獲河川にぞ上した親魚の数と、その中から採卵に用いられた雌雄親魚の数が詳細に記録されている。そのうち1989年から2010年まで、北海道区水産研究所が遺伝的多様性の保全を目的とした放流を行なっている河川における N_e 、及びそれ以外の河川における N_e の最大、最小及び平均をそれぞれ地域個体群毎に算出し、経年変化を観察した。なお、本州太平洋及び本州日本海については、使用親魚数のデータがほとんど存在しないため、解析を行うことが出来なかった。

稚魚放流時期の沿岸水温 各地域個体群の分布域沿岸23地点 (Fig. 1) において観測した春季の沿岸水温の特性についてまとめた。北海道における沿岸水温は、15の観測地点 (オホーツク: 枝幸, 常呂及び斜里, 北海道日本海: 遠別, 厚田及び瀬棚, 根室: 羅臼, 標津, 別海及び根室, えりも以東: 昆布森及び広尾, えりも以西: 静内, 白老及び八雲) における海面下3m層の水温連続観測データを使用した。当該データは旧水産庁北海道さけ・ますふ化場 (その後水産庁さけ・ます資源管理センター, 独立行政法人さけ・ます資源管理センター, 独立行政法人水産総合研究センターさけ・ますセンターと改組され, 現在は北海道区水産研究所に統合) が1994年から観測を開始し, 1995年から2006年までのデータについては, Salmon Database「初期生活史データ編」の春期表層水温としてまとめられ発行されている。また, Salmon Databaseのデータも含めた1994年以降の観測データは北海道区水産研究所のWebサイトにおいて公表されている (<http://salmon.fra.affrc.go.jp/zousyoku/db/sst.htm>)。

fra.affrc.go.jp/zousyoku/db/sst.htm)。

本州太平洋においては、青森県尻労地先における1994年から2010年までの水温データ (青森県水産試験場, 1993-2002; 青森県水産総合研究センター, 2002-2009; 青森県産業技術センター水産総合研究所, 2009-2010), 岩手県野田湾及び広田湾における1995年から2010年までの水温データ (定置水温: <http://www.suigi.pref.iwate.jp/teichi>, 岩手県水産技術センター, 2011年3月1日), 茨城県那珂湊地先における2009年から2010年までの水温データ (沿岸水温情報那珂湊定置水温月別水温値: <http://www18.ocn.ne.jp/~gyomusen/wt/wtsuion.htm>, 茨城県水産試験場, 2011年3月1日) を用いた。本州日本海においては、青森県鯉ヶ沢地先における1989年から2010年までの水温データ (青森県水産試験場, 1990, 1993, 1993-2002; 青森県水産総合研究センター, 2002-2009; 青森県産業技術センター水産総合研究所, 2009-2010), 秋田県男鹿地先における2000年から2010年までの水温データ (きょうの海水温 平成12年1月~平成23年2月18日まで: <http://www.pref.akita.lg.jp/www/contents/1186019082794/files/suion.pdf>, 秋田県水産振興センター, 2011年3月17日), 山形県加茂港における2001年から2008年までの水温データ (山形県水産試験場, 2003-2010), 富山県氷見市地先における1998年から2010年までの水温データ (富山県水産情報システム海峡情報 地先の水温: http://www.fish.pref.toyama.jp/TSWKCKI_KN.aspx, 富山県, 2011年3月17日) を用いた。

サケ稚魚の放流に当たっては、1970年代後半から、放流を始めるタイミングを沿岸水温が5℃前後となる時期、終えるタイミングを沿岸水温が8~10℃となる時期とおいた「適期放流」という概念が導入され (北海道さけ・ますふ化場, 1976; 小林, 1977), その後、沿岸水温が5℃となる時期以降に体重1g以上で放流することを基本とし、沿岸水温が13℃に達する時期までに体重3gに成長することが可能な時期及び放流サイズを想定した「適期・適サイズ放流」という概念に発展した (野川, 1992; 北海道さけ・ますふ化場, 1996)。現在、人工ふ化放流施設では、この「適期・適サイズ放流」の概念に基づいた放流が実施されている。また、1980年代以降、沿岸域におけるサケ稚魚の生態に関する調査研究が精力的に行われてきた結果、サケ稚魚が主に分布する水温帯、すなわちサケ稚魚の生息に適した水温帯が8~13℃の間であることが示唆されている (入江, 1990; 永田ら, 2006; Miyakoshi *et al.*, 2007)。これらのことから、観測地点毎に、水温が5, 8, 10及び13℃に達するおおよその時期を推定した。推定に

当たっては、Salmon Database「初期生活史データ編」で用いられている方法に従い、各観測地点の観測開始年から2010年までに行われた観測の平均値を日別に求め、水温時系列のトレンドを周期365日の正弦曲線としてLevenberg-Marquardt法で残差を最小化し、次式により求めた。

$$T = A + B \sin \left(2\pi \frac{D+C}{365} \right)$$

ここで、 D は3月1日0時を0とした経過日数、 T はその時の水温(°C)、 A は年間平均水温(°C)、 B は年間の最高水温と最低水温の差の1/2(°C)、 C は $\sin 0$ と $D=0$ の位相差(日数)を表す。なお、北海道においては、2007年以降、秋期にも同じ観測地点において連続観測が行われている。秋期の水温が得られている場合は、それも加えてトレンドを算出した。また、本州太平洋の尻労、本州日本海の鱒ヶ沢及び加茂港は日別ではなく半旬もしくは旬毎の観測値であったので、トレンドの算出は旬の値を当該旬の各日に代入して行った。トレンドから各観測地点における5、8、10及び13°C到達日を推定し、平均値及び標準偏差を算出した。

稚魚の放流時期と放流サイズ サケの放流時期別の放流数は、北海道の5地域個体群では1989年級から2009年級までが、本州の2地域個体群については1994

年級から2008年級までが整理されている。これらのデータを用い、各地域個体群における放流時期別の放流数について、便宜的に年級を1989~1990年級(1980年代後半)、1991~1995年級(1990年代前半)、1996~2000年級(1990年代後半)、2001~2005年級(2000年代前半)及び2006~2009(2000年代後半)年級の5つに区切り、それぞれの区分で平均を算出し、年代別の動向を観察した。さらに、各地域個体群における年級毎の平均放流サイズ(魚体重)を算出し、経年変化の動向を観察した。

結 果

人工ふ化放流の実施体制 日本では、200水系で採卵用サケ親魚の捕獲が行われ、得られた種苗は246箇所のふ化場で飼育され、生産されたサケ稚魚1,851,658,000尾が252河川に放流されている(Table 1)。オホーツクにおいては、17水系でサケ親魚の捕獲採卵が、23水系でサケ稚魚合計232,159,000尾の放流が行われている(Table 1)。サケの人工ふ化放流を実施しているふ化施設(中間育成施設を除く)は21箇所存在し、うち2箇所は北海道区水産研究所の施設(斜里さけます事業所及び徳志別さけます事業所)であり、幌内川から東側に存在する12施設は一般社団法人北見管内さけ・ます増殖事業協会が、それより西側に存在する7施設は一般社団法人宗谷管内さけ・ます増殖事業協会

Table 1. Regional features of chum salmon propagation in Japan in 2010.

Regions	Number of rivers where adult salmon were caught	Number of hatcheries (A)	Number of rivers where salmon fry were released (B)	Number of salmon fry released (in thousand)		
				Total (C)	Mean per hatchery (C/A)	Mean per river (C/B)
Okhotsk Sea	17	21	23	232,159	11,055	10,094
Hokkaido Sea of Japan	18	20	38	188,605	9,430	4,963
Nemuro	12	17	19	197,622	11,625	10,401
East Hokkaido Pacific	10	17	19	213,583	12,564	11,241
West Hokkaido Pacific	33	33	43	206,241	6,250	4,796
Honshu Pacific	63	79	60	654,796	8,289	10,913
Honshu Sea of Japan	47	59	50	158,652	2,689	3,173
Total	200	246	252	1,851,658	7,527	7,348

が運営している (Fig. 2)。ふ化施設当たりの平均放流数は11,055,000尾である。

北海道日本海においては、18水系でサケ親魚の捕獲採卵が、38水系でサケ稚魚188,605,000尾の放流が行われている (Table 1)。サケの人工ふ化放流を実施しているふ化施設 (中間育成施設を除く) は20箇所存在し、うち2箇所は北海道区水産研究所の施設 (天塩さけます事業所及び千歳さけます事業所)、1箇所は北海道総合研究機構さけます・内水面試験場の施設 (道北支場: 2011年3月末で廃止) であり、利尻島に存在する3施設は一般社団法人宗谷管内さけ・ます増殖事業協会が、天塩川水系及び信砂川に存在する3施設は一般社団法人留萌管内さけ・ます増殖事業協会が、その他の11施設は一般社団法人日本海さけ・ます増殖事業協会がそれぞれ運営している (Fig. 3)。ふ化施設当たりの平均放流数は9,430,000尾である。

根室においては、12水系でサケ親魚の捕獲採卵が、19水系でサケ稚魚197,622,000尾の放流が行われている (Table 1)。サケの人工ふ化放流を実施しているふ化施設 (中間育成施設を除く) は17箇所存在し、うち2箇所は北海道区水産研究所の施設 (伊茶仁さけます事業所及び虹別さけます事業所) であり、その他の15施設は一般社団法人根室管内さけ・ます増殖事業協会が運営している (Fig. 4)。ふ化施設当たりの平均放流数は11,625,000尾である。

えりも以東においては、10水系でサケ親魚の捕獲採卵が、19水系でサケ稚魚合計213,583,000尾の放流が行われている (Table 1)。サケの人工ふ化放流を実施しているふ化施設 (中間育成施設を除く) は17箇所存在し、うち2箇所は北海道区水産研究所の施設 (鶴居さけます事業所及び十勝さけます事業所) であり、東側のチャラベツ川 (サケの捕獲及び放流は行っていない)

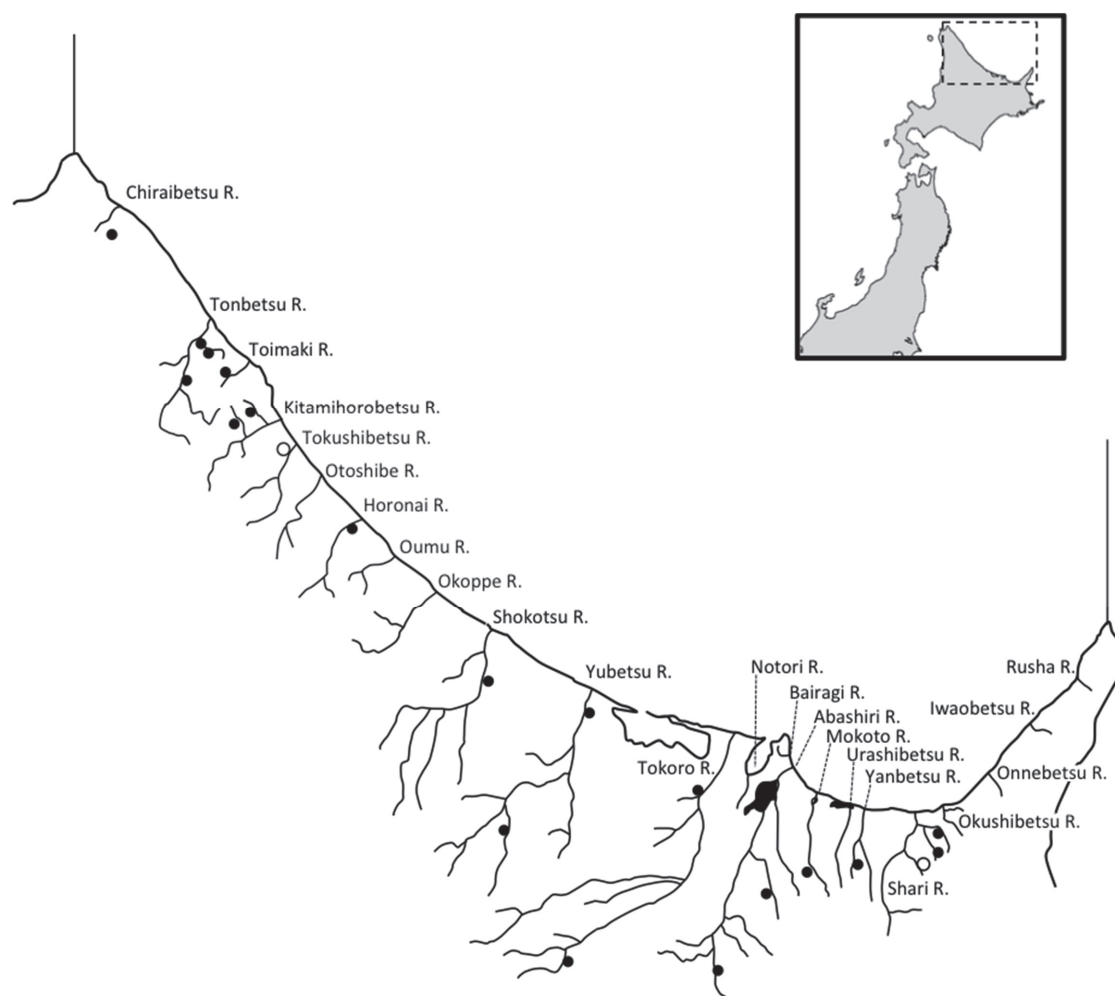


Fig. 2. Locations of hatcheries and rivers where chum salmon fry were released in the Okhotsk region. Opened circles show the hatcheries of FRA (Fisheries Research Agency), and closed circles show the hatcheries of other organizations.

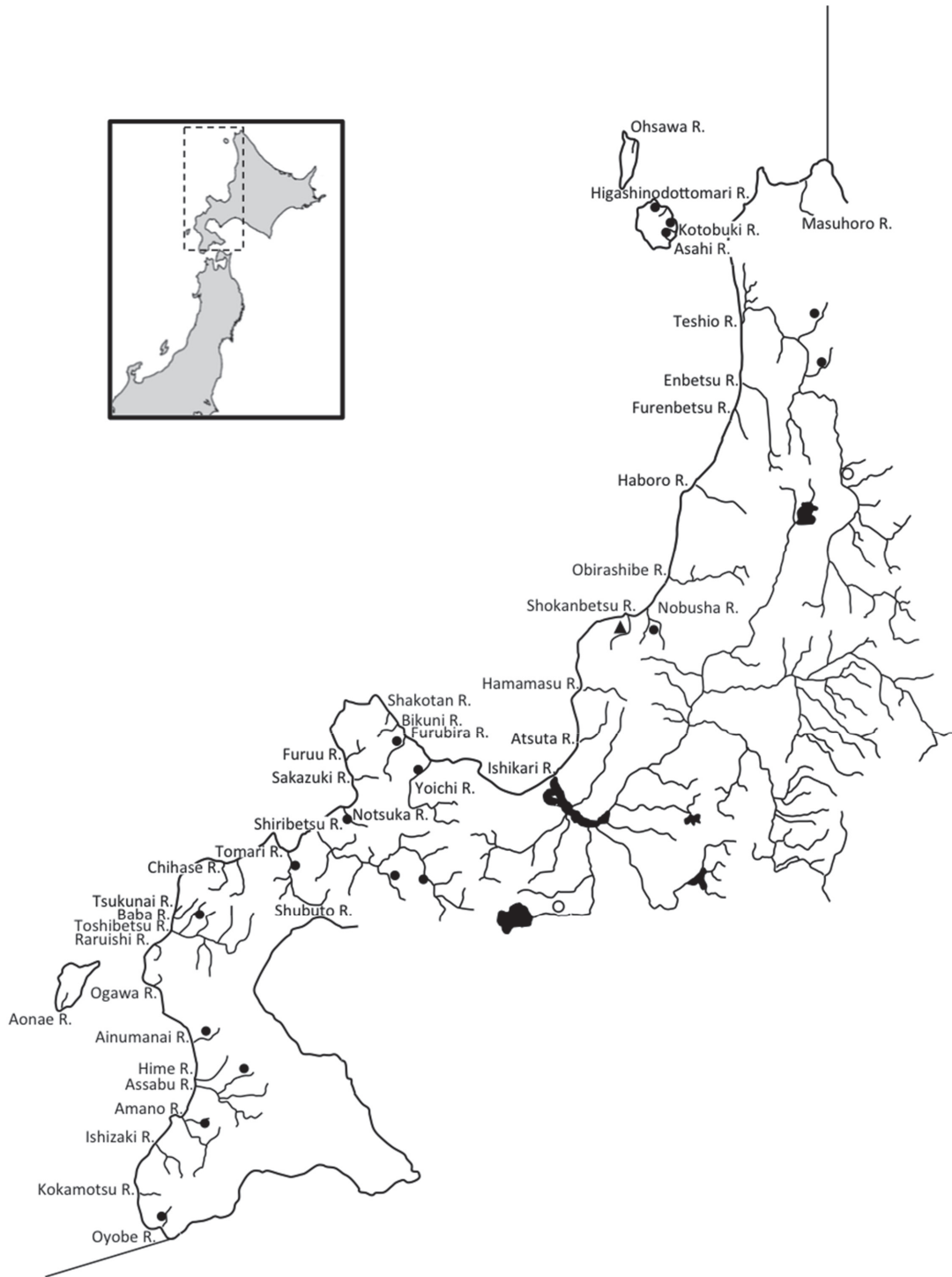


Fig. 3. Locations of hatcheries and rivers where chum salmon fry were released in the Hokkaido Sea of Japan region. Opened circles show the hatcheries of FRA (Fisheries Research Agency), closed triangle show the hatcheries of HRO (Hokkaido Research Organization), and closed circles show the hatcheries of other organizations.

に存在する 1 施設は一般社団法人根室管内さけ・ます増殖事業協会が、西側の猿留川に存在する 1 施設は一般社団法人日高管内さけ・ます増殖事業協会が、他の

13 施設は一般社団法人十勝釧路管内さけます増殖事業協会が運営している (Fig. 5)。ふ化施設当たりの平均放流数は 12,564,000 尾と最も多い。



Fig. 4. Locations of hatcheries and rivers where chum salmon fry were released in the Nemuro region. Opened circles show the hatcheries of FRA (Fisheries Research Agency), and closed circles show the hatcheries of other organizations.

えりも以西においては、33水系でサケ親魚の捕獲採卵が、43水系でサケ稚魚206,241,000尾の放流が行われている (Table 1)。サケの人工ふ化放流を実施しているふ化施設 (中間育成施設を除く) は33箇所存在し、うち2箇所は北海道区水産研究所の施設 (静内さけます事業所及び八雲さけます事業所) であり、歌別川から沙流川までの間に存在する8施設は一般社団法人日高管内さけ・ます増殖事業協会が、鶴川から貫気別川

までの間に存在する9施設は一般社団法人胆振管内さけ・ます増殖事業協会が、静狩川から福島川までの間に存在する14施設は一般社団法人渡島管内さけ・ます増殖事業協会がそれぞれ運営している (Fig. 6)。ふ化施設当たりの平均放流数は4,796,000尾であり、北海道の他地区と比較し、小規模なふ化施設が多い。

本州太平洋においては、63水系でサケ親魚の捕獲採卵が、60水系でサケ稚魚654,796,000尾の放流が行われ

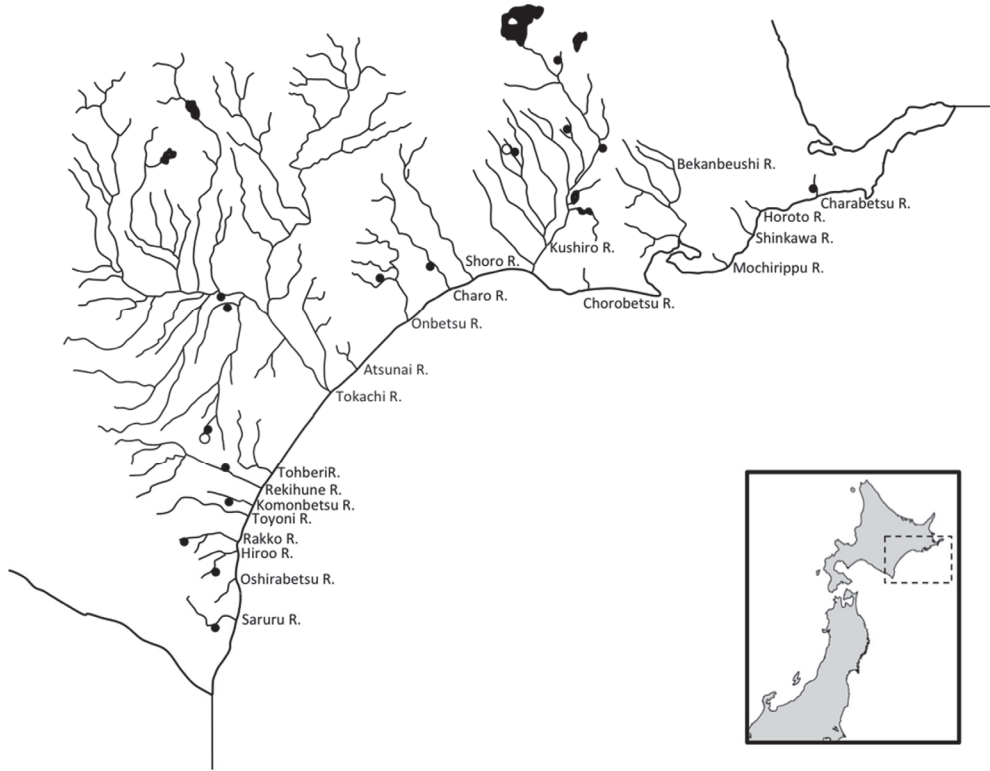


Fig. 5. Locations of hatcheries and rivers where chum salmon fry were released in the East Hokkaido Pacific region. Opened circles show the hatcheries of FRA (Fisheries Research Agency), and closed circles show the hatcheries of other organizations.

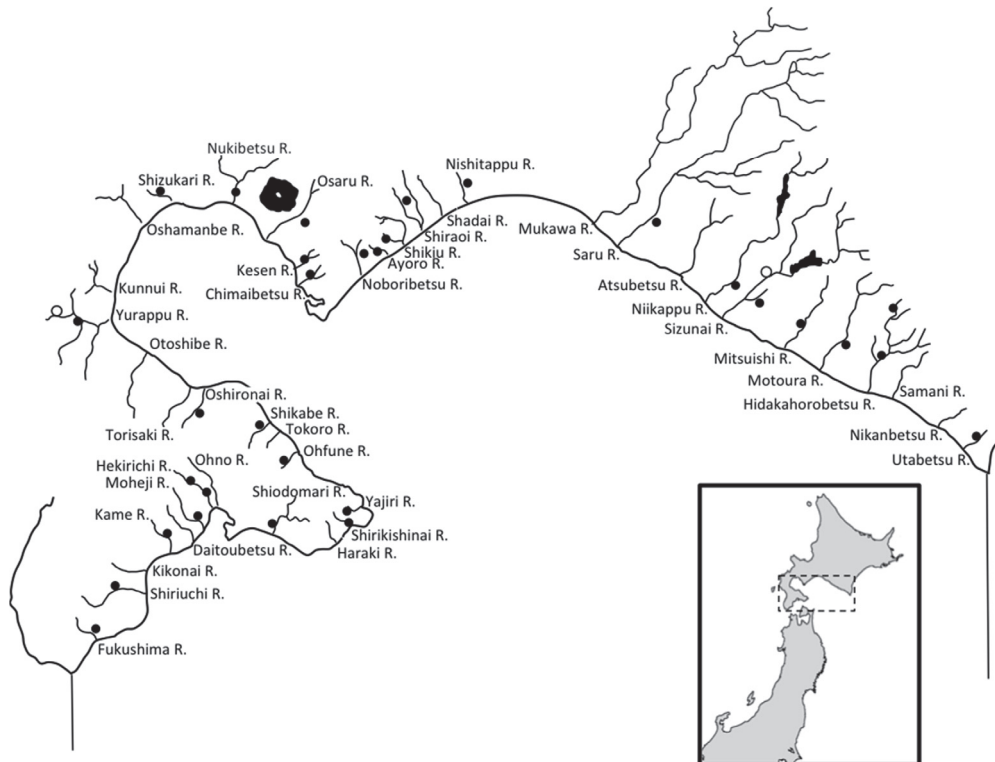


Fig. 6. Locations of hatcheries and rivers where chum salmon fry were released in the West Hokkaido Pacific region. Opened circles show the hatcheries of FRA (Fisheries Research Agency), and closed circles show the hatcheries of other organizations.



Fig. 7a. Locations of hatcheries (closed circles) and rivers where chum salmon fry were released in Aomori Prefecture area of the Honshu Pacific region.

ている (Table 1)。サケの人工ふ化放流を実施しているふ化施設 (中間育成施設を除く) は、青森県内に9箇所、岩手県内に41箇所、宮城県内に16箇所、福島県内に10箇所、茨城県内に3箇所の計79箇所存在する (Figs. 7a-e)。ふ化施設当たりの平均放流数は8,289,000尾である。

本州日本海においては、47水系でサケ親魚の捕獲採卵が、50水系でサケ稚魚158,652,000尾の放流が行われている (Table 1)。サケの人工ふ化放流を実施しているふ化施設 (中間育成施設を除く) は、青森県内に4箇所、秋田県内に13箇所、山形県内に13箇所、新潟県内に21箇所、富山県内に7箇所、石川県内に1箇所の計59箇所存在する (Figs. 8a-f)。ふ化施設当たりの平

均放流数は2,689,000尾と最も少なく、小規模なふ化施設が多い。

採卵時期 各地域個体群における年代毎の採卵数の旬別割合 (採卵パターン) をFigs. 9-15に示した。

オホーツクにおいては、すべての年代に共通して、ピークとなる時期が10月下旬となっている (Fig. 9)。1980年代後半から1990年代前半では、10月下旬の割合が20%強程度とやや低く、9月下旬~10月中旬、又は11月下旬の割合がやや高くなっているが、1990年代後半からは10月下旬が25%以上を占める採卵パターンとなりほぼ変わっていない。

北海道日本海においては、ピークとなる採卵時期が

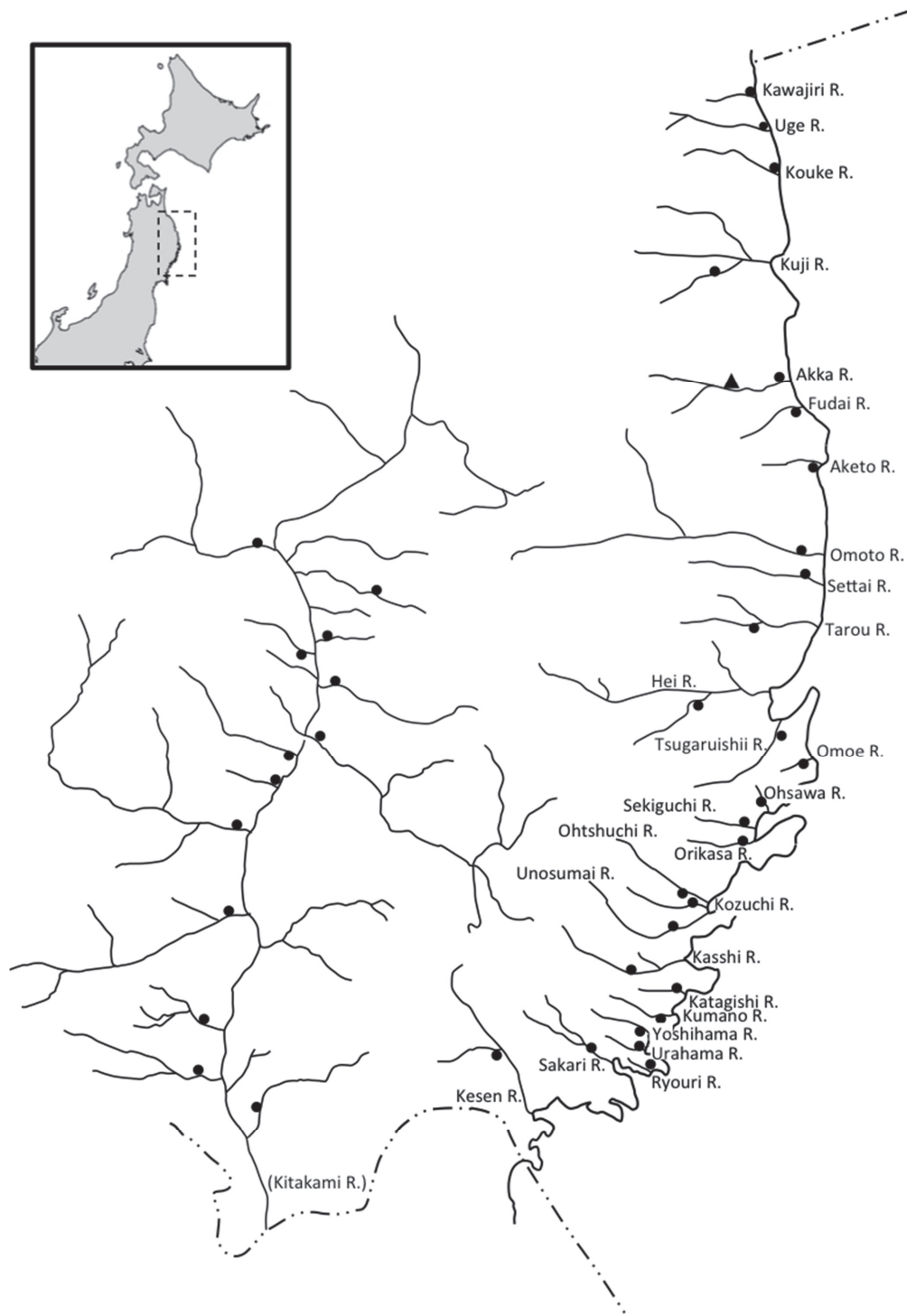


Fig. 7b. Locations of hatcheries and rivers where chum salmon fry were released in Iwate Prefecture area of Honshu Pacific region. Closed triangle shows the prefectural hatchery, and closed circles show the hatcheries of other organizations.

1980年代後半～1990年代前半は10月下旬，1990年代後半～2000年代前半は10月中旬，2000年代後半は10月上旬となっており，年代を追って採卵時期が早期にシフトした (Fig. 10)。

根室における採卵パターンは，1980年代後半～1990年代前半は9月下旬，10月下旬及び11月下旬に3つのピークを持ち，11月下旬の割合が全体の約20%と最も高い割合を示したが，1990年代後半からはオホーツク

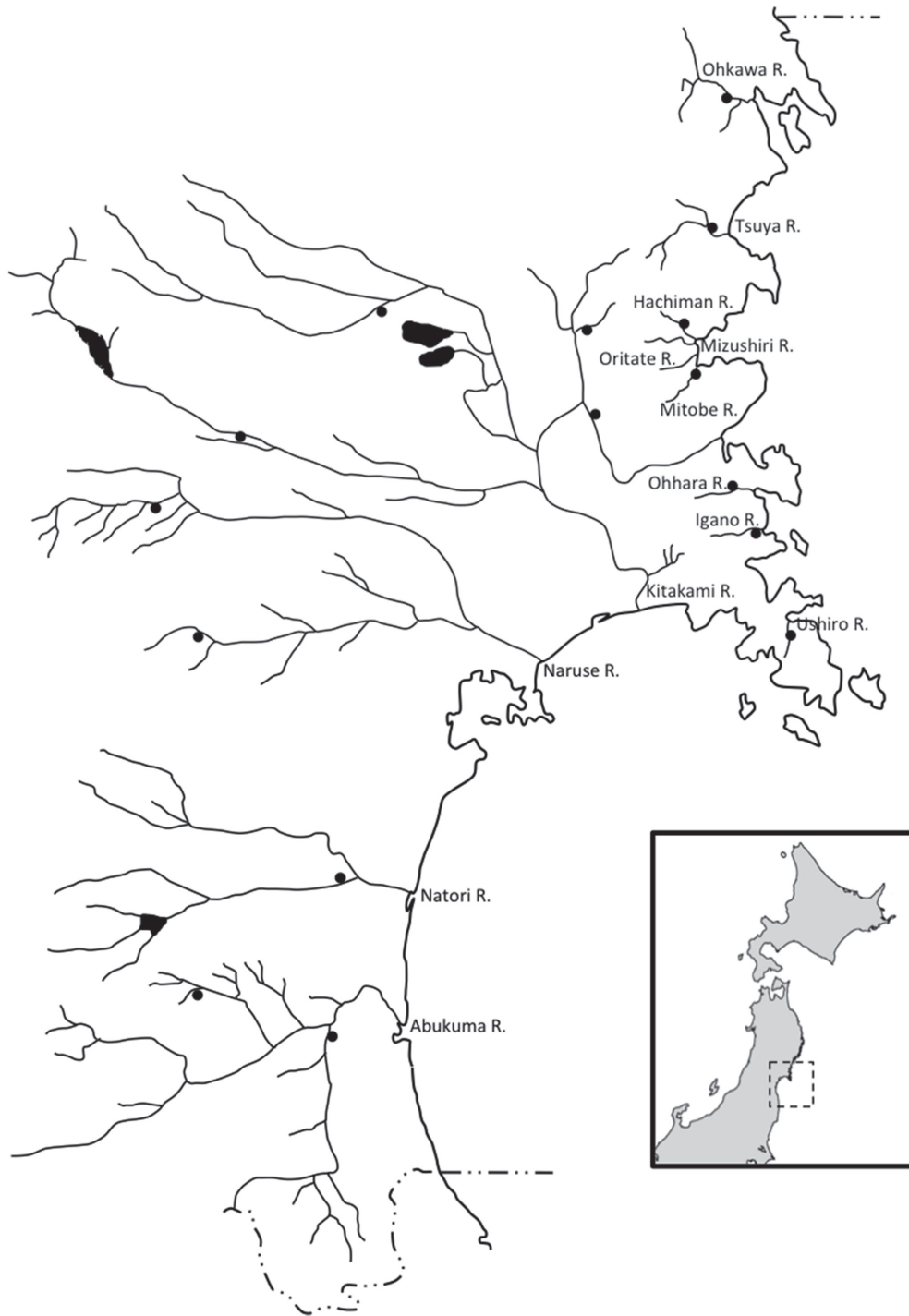


Fig. 7c. Locations of hatcheries (closed circles) and rivers where chum salmon fry were released in Miyagi Prefecture area of Honshu Pacific region.

と類似した、10月下旬をピークとする単峰型の構造に大きく変化し、11月下旬の割合は10%を下回るまで激減した (Fig. 11)。

えりも以東においては、すべての年代に共通して採卵のピークとなる時期が10月下旬となっている (Fig.

12)。1990年代では、他の年代と比較して9月下旬の割合が高くなっている。一方で、2000年代では11月中旬の割合が若干高い。

えりも以西においては、すべての年代に共通して10月下旬に採卵のピークが存在している (Fig. 13)。

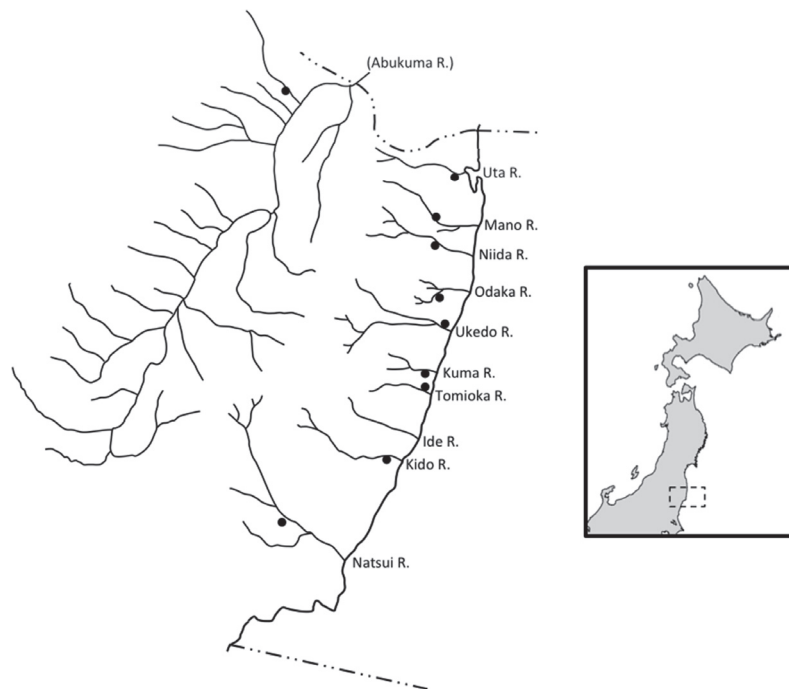


Fig. 7d. Locations of hatcheries (closed circles) and rivers where chum salmon fry were released in Fukushima Prefecture area of Honshu Pacific region.



Fig. 7e. Locations of hatcheries (closed circles) and rivers where chum salmon fry were released in Ibaraki Prefecture area of Honshu Pacific region.

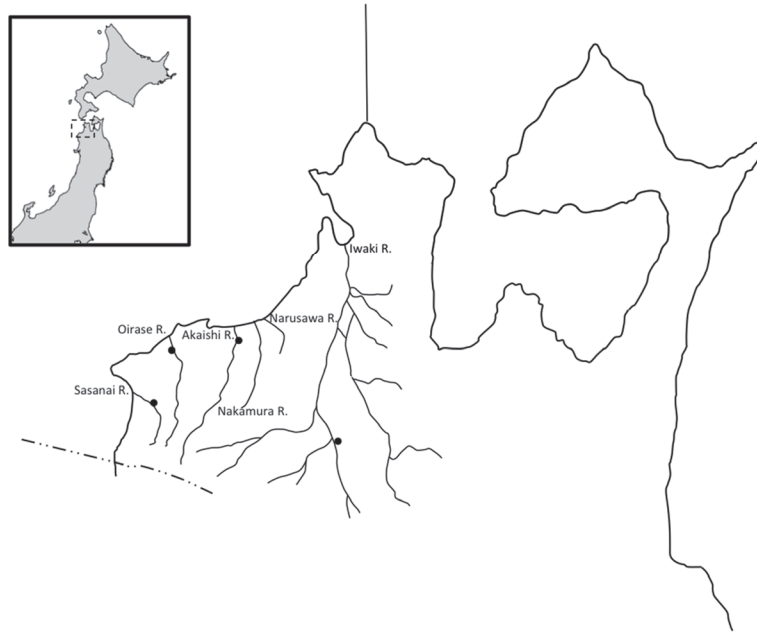


Fig. 8a. Locations of hatcheries (closed circles) and rivers where chum salmon fry were released in Aomori Prefecture area of Honshu Sea of Japan region.

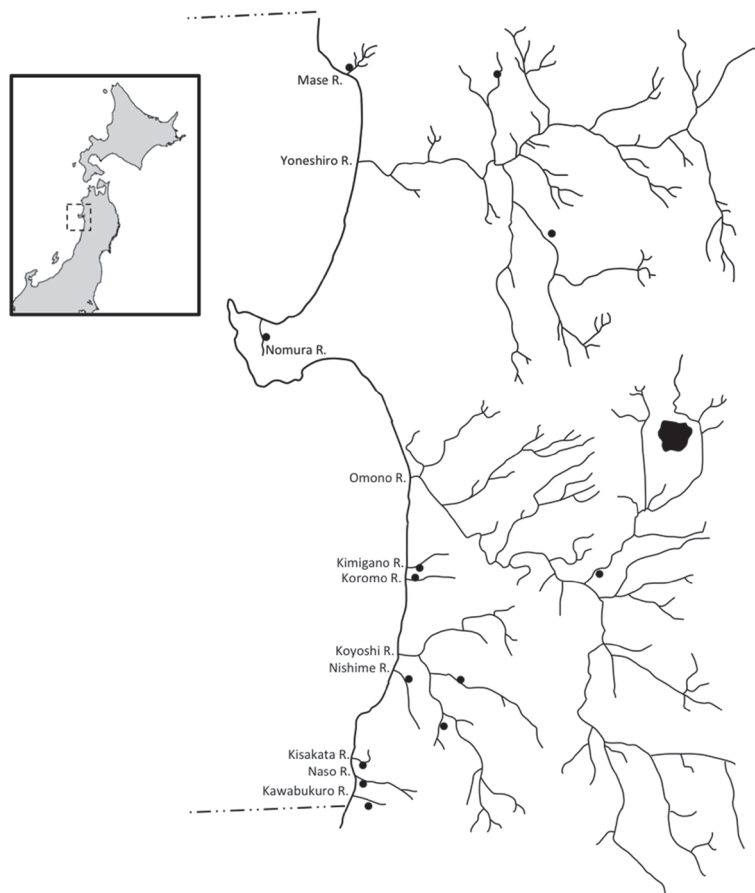


Fig. 8b. Locations of hatcheries (closed circles) and rivers where chum salmon fry were released in Akita Prefecture area of Honshu Sea of Japan region.

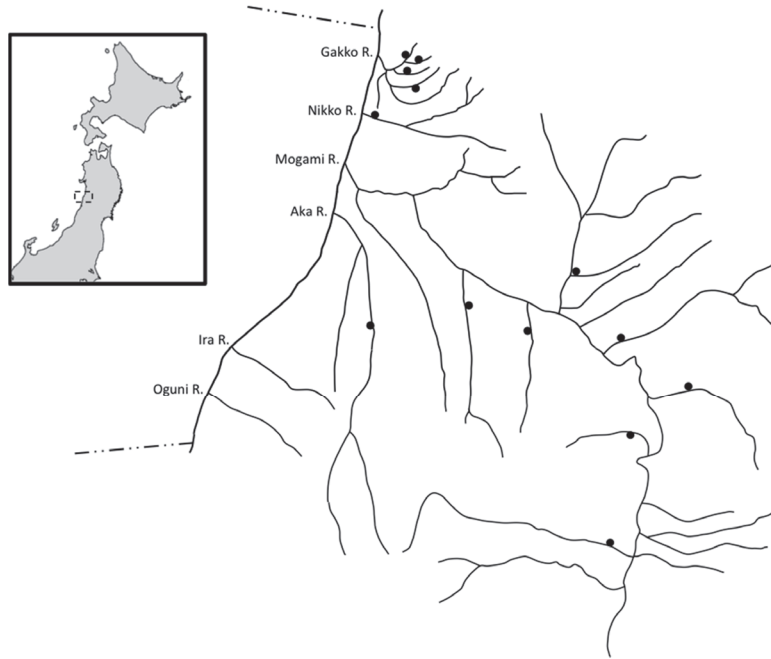


Fig. 8c. Locations of hatcheries (closed circles) and rivers where chum salmon fry were released in Yamagata Prefecture area of Honshu Sea of Japan region.



Fig. 8d. Locations of hatcheries (closed circles) and rivers where chum salmon fry were released in Niigata Prefecture area of Honshu Sea of Japan region.

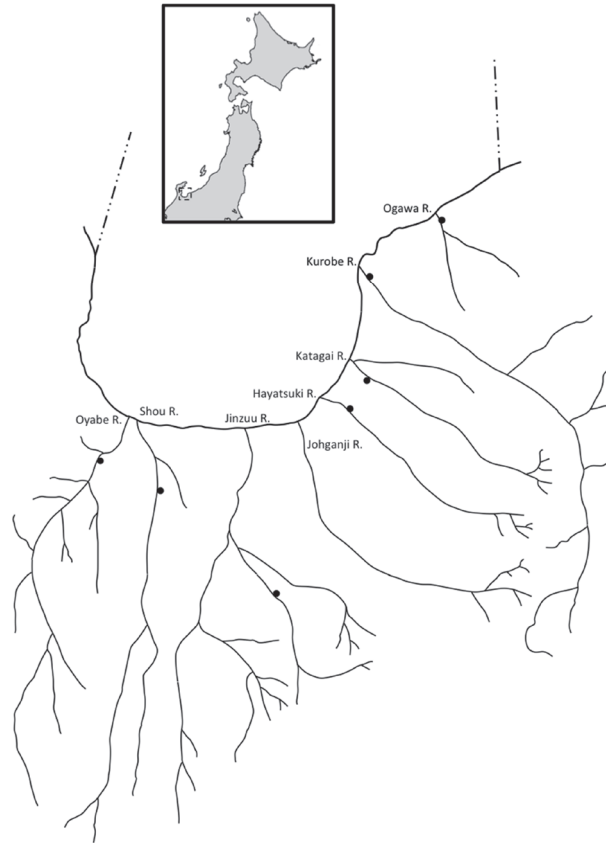


Fig. 8e. Locations of hatcheries (closed circles) and rivers where chum salmon fry were released in Toyama Prefecture area of Honshu Sea of Japan region.

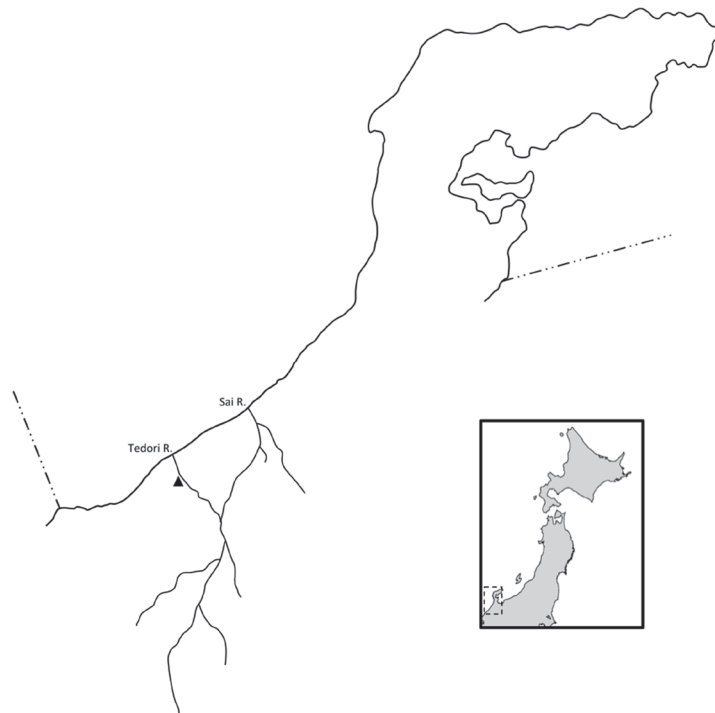
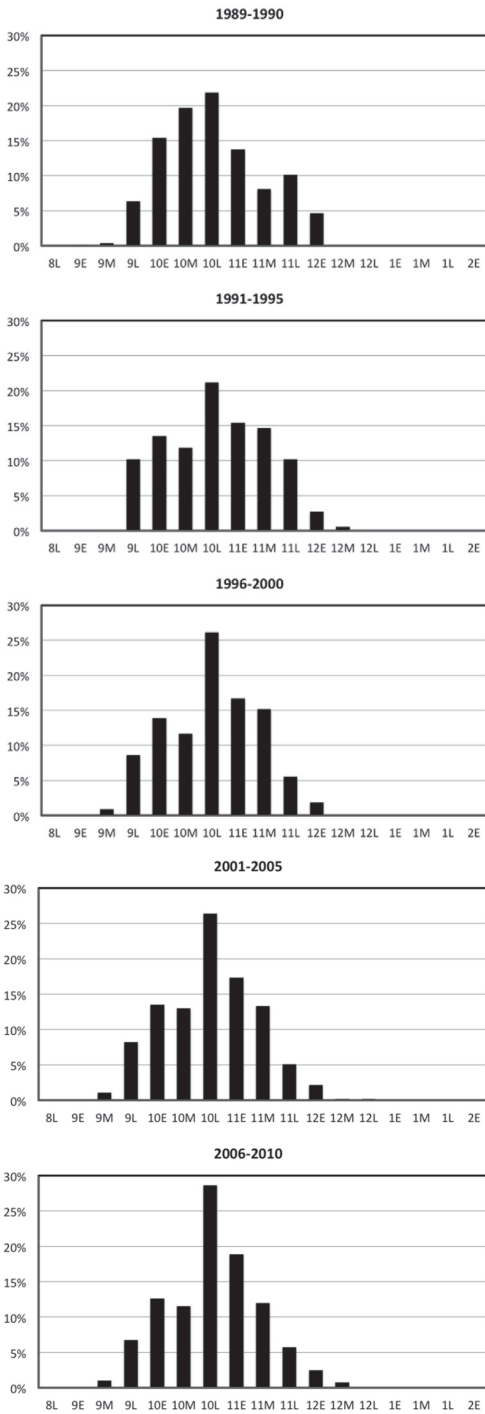


Fig. 8f. Locations of hatcheries and rivers where chum salmon fry were released in Ishikawa Prefecture area of Honshu Sea of Japan region. Closed triangle shows the prefectural hatchery.

Region : Okhotsk



Region : Hokkaido Sea of Japan

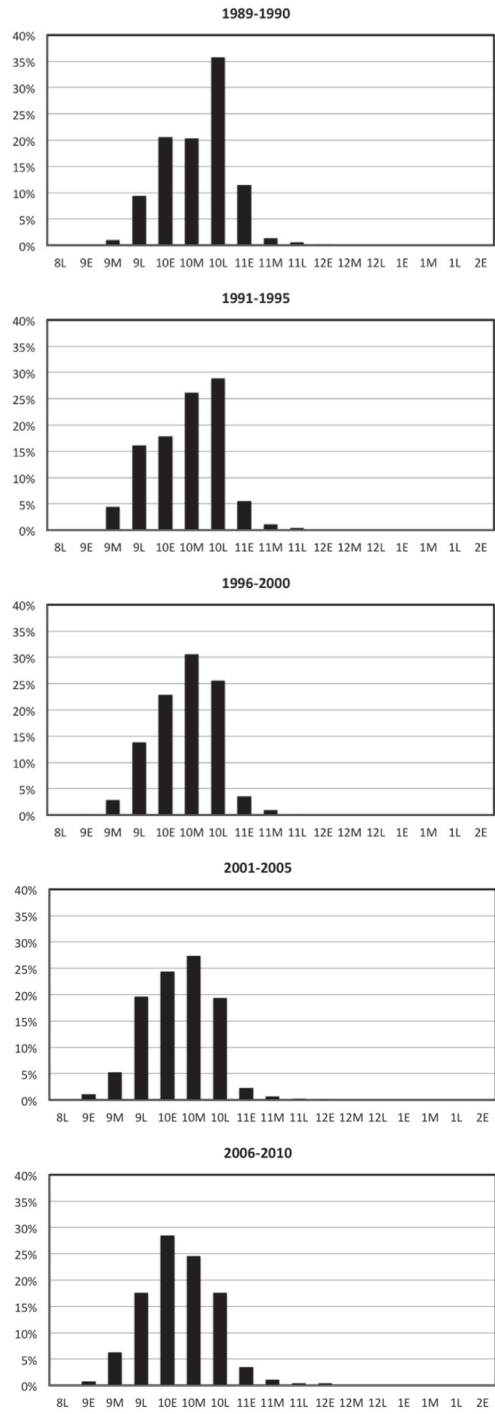


Fig. 9. Long-term changes in the timing of artificial fertilization of chum salmon eggs in the Okhotsk region. The histograms indicate the frequent distributions of the average number of fertilized chum salmon eggs for the early (E), middle (M) and late (L) of each month in the second half of 1980s (1989-1990), the first half of 1990s (1991-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2010).

Fig. 10. Long-term changes in the timing of artificial fertilization of chum salmon eggs in the Hokkaido Sea of Japan region. The histograms indicate the frequent distributions of the average number of fertilized chum salmon eggs for the early (E), middle (M) and late (L) of each month in the second half of 1980s (1989-1990), the first half of 1990s (1991-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2010).

Region : Nemuro

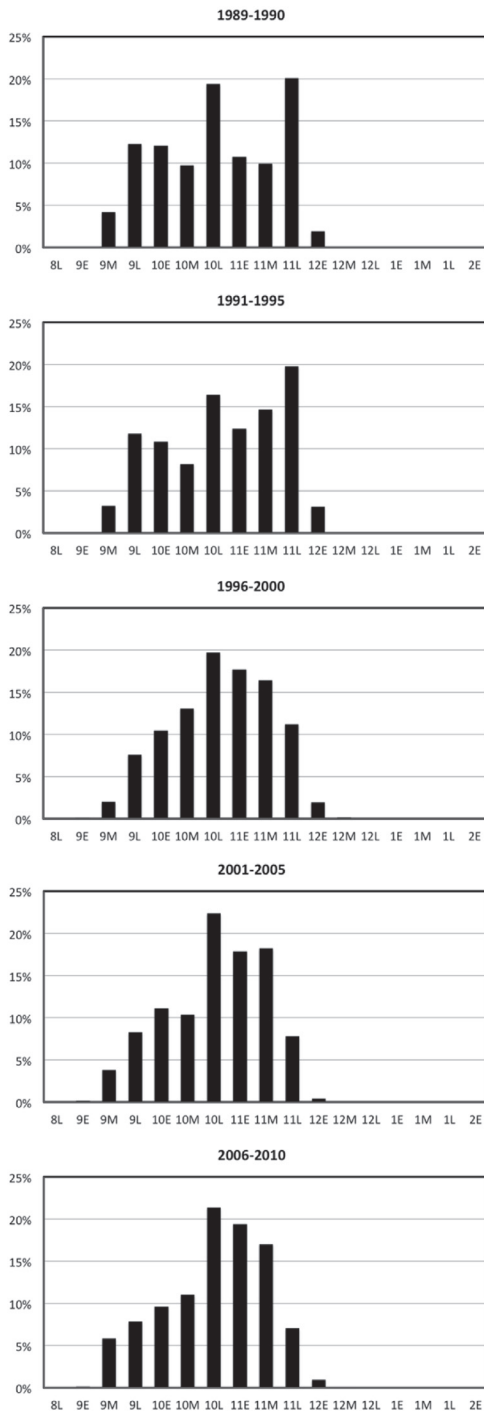


Fig. 11. Long-term changes in the timing of artificial fertilization of chum salmon eggs in the Nemuro region. The histograms indicate the frequent distributions of the average number of fertilized chum salmon eggs for the early (E), middle (M) and late (L) of each month in the second half of 1980s (1989-1990), the first half of 1990s (1991-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2010).

Region : East Hokkaido Pacific

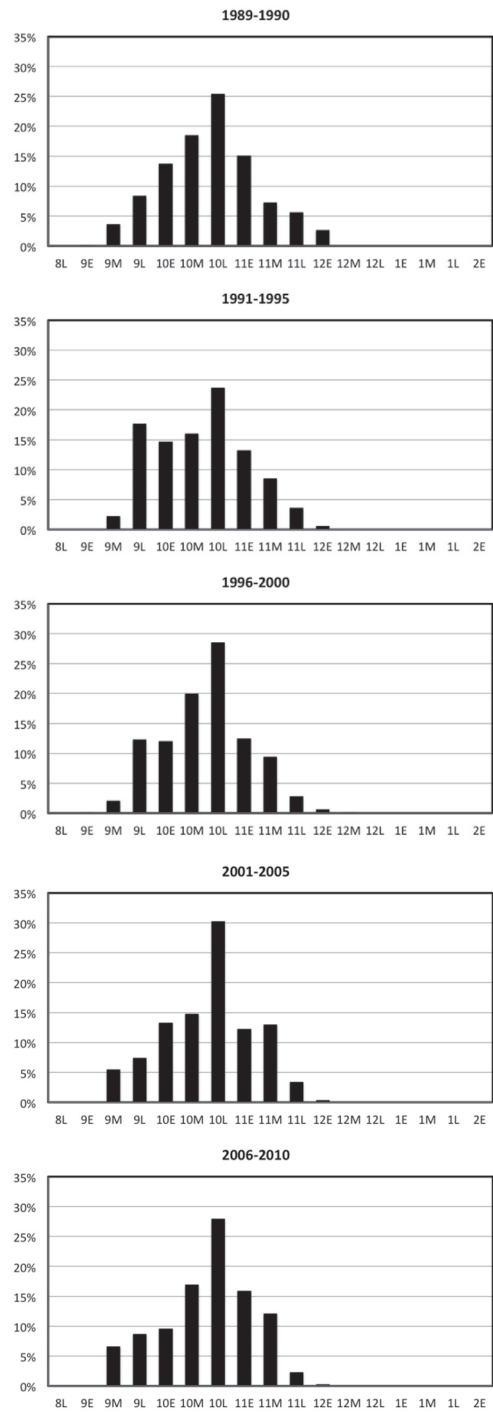


Fig. 12. Long-term changes in the timing of artificial fertilization of chum salmon eggs in the East Hokkaido Pacific region. The histograms indicate the frequent distributions of the average number of fertilized chum salmon eggs for the early (E), middle (M) and late (L) of each month in the second half of 1980s (1989-1990), the first half of 1990s (1991-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2010).

1980年代後半は10月下旬の他に11月下旬に15%を超えるピークが存在していたが、それ以降の年代ではみられない。1990年代後半以降は11月中旬の割合が徐々に高くなり、2000年代後半では10月下旬の割合を若干上回っている。

本州太平洋においては、すべての年代に共通して11月下旬が採卵のピークとなっている (Fig. 14)。1980年代後半では、11月下旬-12月上旬の割合が他の旬よりも極端に高い形になっているが、1990年代以降は10月下旬から11月上旬の割合が増え、ピークが明確でない。

本州日本海における採卵パターンは、1980年代後半には10月上旬がピークであったが、1990年代前半は10月下旬がピーク、1990年代後半は11月下旬が最も高く、かつ10月下旬にもピークを持つパターンとなっている (Fig. 15)。2000年代に入ってから、2つのピークの間となる11月上旬及び中旬の割合が増えている。

集団の有効な大きさ 北海道の5地域個体群における採卵に用いる親魚の集団の有効な大きさ (N_e) の経年変化をFig. 16に示した。オホーツクでは、徳志別川において、地域個体群の保全を目的とした人工ふ化放流を実施している。徳志別川における N_e は年々増加する傾向にあり、1989年では5,000尾程度であったものが、近年では15,000-20,000尾程度になっている (Fig. 16a)。その他の河川については、平均すると5,000尾程度であるが、最大値については減少傾向にある。

北海道日本海では、石狩川において、地域個体群の保全を目的とした人工ふ化放流を実施している。石狩川における N_e は20,000-40,000尾で変動しながら推移している (Fig. 16b)。その他の河川における平均 N_e は5,000尾をやや下回る状況で推移している。

根室では、西別川において、地域個体群の保全を目的とした人工ふ化放流を実施している。西別川における N_e は20,000-50,000尾で変動しながら推移している (Fig. 16c)。一方、その他の河川における平均 N_e は5,000-10,000尾程度で推移している。

えりも以東では、十勝川において、地域個体群の保全を目的とした人工ふ化放流を実施している。十勝川における N_e は1989年に90,000尾近い値を示しているが、その直後には30,000尾台となった (Fig. 16d)。それ以降は増加の傾向がみられ、近年では50,000-70,000尾台で推移している。一方、その他の河川における平均 N_e は2000年代に入ってから10,000尾を上回る形で推移していたが、2010年は極端な回帰不振のため5,000尾をやや下回った。

えりも以西では、遊楽部川において、地域個体群の

保全を目的とした人工ふ化放流を実施している。遊楽部川における N_e は10,000-30,000尾の範囲で推移している (Fig. 16e)。その他の河川における平均 N_e は5,000尾をやや下回る形で推移している。

稚魚放流時期の沿岸水温 7地域個体群の分布する沿岸における平均水温の変化をFigs. 17, 18に、水温5, 8, 10及び13°C到達日の平均と標準偏差をTable 2に示した。本州日本海においては水温が常に5°Cを下回らなかった。5, 8及び10°C到達日はいずれも本州日本海が最も早く、次いで本州太平洋、北海道日本海、えりも以西、オホーツク、根室と続き、えりも以東が最も遅かった。13°C到達日は本州太平洋よりも北海道日本海の方が早かった以外は同様の順であった。

オホーツクにおける沿岸水温観測点 (枝幸、常呂及び斜里) の平均水温の変化をFig. 17aに、5, 8, 10及び13°C到達日の平均と標準偏差をAppendix 1に示した。沿岸水温は高緯度に位置する枝幸で高く、低緯度に位置する斜里で低いが、その差は昇温が進むに連れて小さくなる傾向がみられた。

北海道日本海における沿岸水温観測点 (遠別、厚田及び瀬棚) の平均水温の変化をFig. 17bに、5, 8, 10及び13°C到達日の平均と標準偏差をAppendix 2に示した。沿岸水温は低緯度に位置する瀬棚が高かったが、遠別と厚田はほとんど差がみられなかった。瀬棚においては水温のトレンド値が5°C以下となった年は1カ年のみであったので、5°C平均到達日は算出しなかった。

根室における沿岸水温観測点 (羅臼、標津、別海及び歯舞) の平均水温の変化をFig. 17cに、5, 8, 10及び13°C到達日の平均と標準偏差をAppendix 3に示した。水温は、根室湾の奥部に位置する別海が最も高く、高緯度に位置する羅臼が最も低かった。

えりも以東における沿岸水温観測点 (昆布森及び広尾) の平均水温の変化をFig. 17dに、5, 8, 10及び13°C到達日の平均と標準偏差をAppendix 4に示した。水温は西側に位置する広尾の方が若干高く推移していた。

えりも以西における沿岸水温観測点 (静内、白老及び八雲) の平均水温の変化をFig. 17eに、5, 8, 10及び13°C到達日の平均と標準偏差をAppendix 5に示した。沿岸水温は西側に位置する八雲で高く、東側に位置する静内で低かった。

本州太平洋における沿岸水温観測点 (尻笥、野田湾、広田湾及び那珂湊) の平均水温の変化をFig. 18aに、5, 8, 10及び13°C到達日の平均と標準偏差をAppendix 6に示した。沿岸水温は最も低緯度に位置する那珂湊が

Region : West Hokkaido Pacific

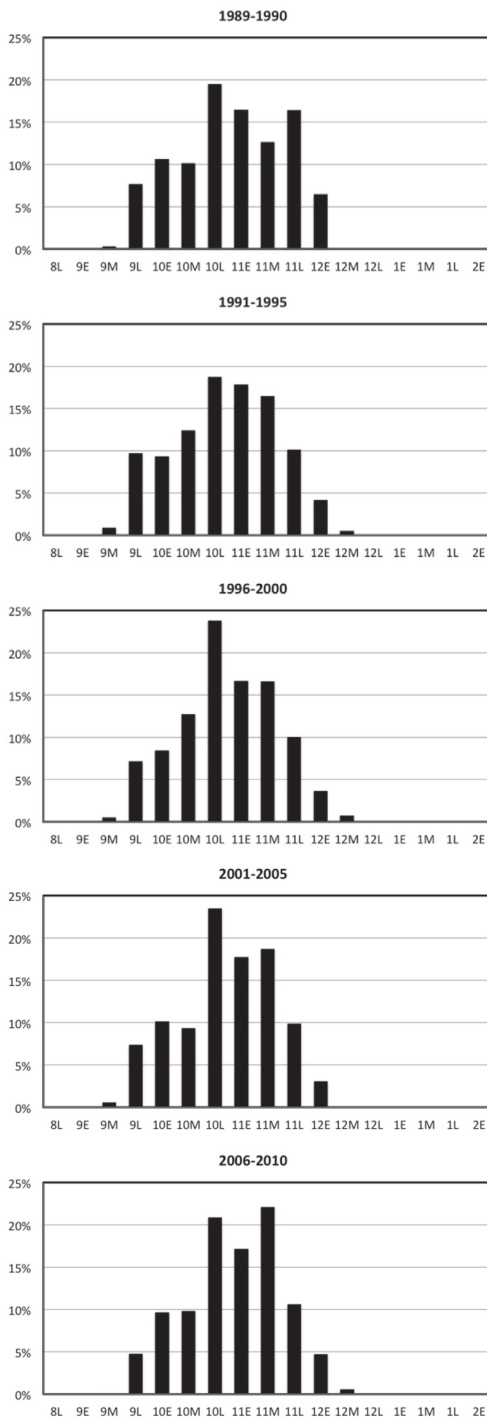


Fig. 13. Long-term changes in the timing of artificial fertilization of chum salmon eggs in the West Hokkaido Pacific region. The histograms indicate the frequent distributions of the average number of fertilized chum salmon eggs for the early (E), middle (M) and late (L) of each month in the second half of 1980s (1989-1990), the first half of 1990s (1991-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2010).

Region : Honshu Pacific

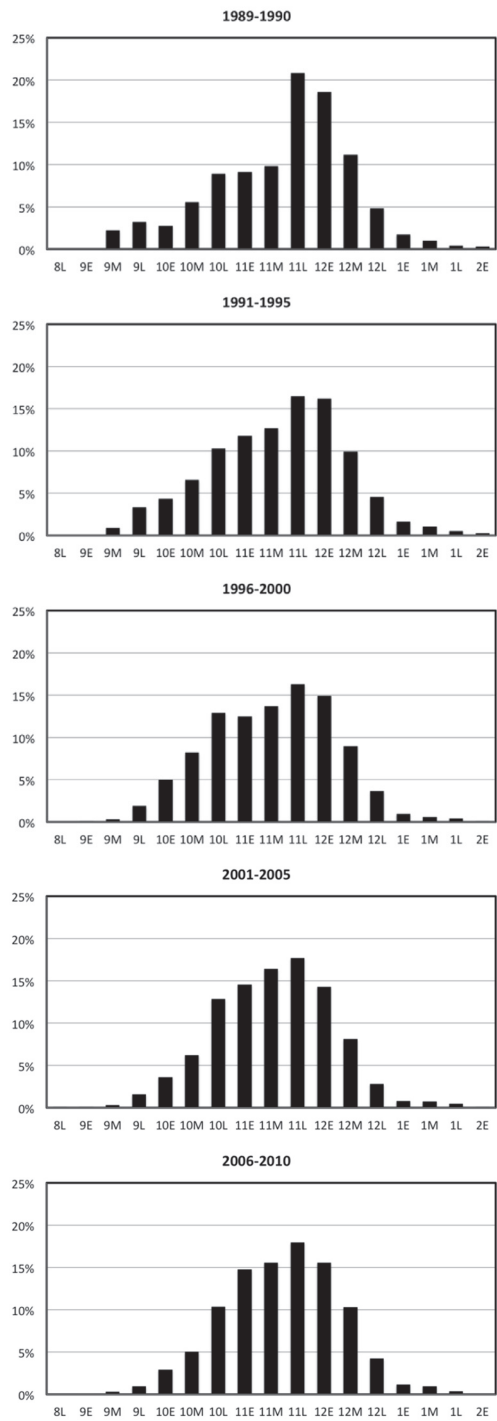


Fig. 14. Long-term changes in the timing of artificial fertilization of chum salmon eggs in the Honshu Pacific region. The histograms indicate the frequent distributions of the average number of fertilized chum salmon eggs for the early (E), middle (M) and late (L) of each month in the second half of 1980s (1989-1990), the first half of 1990s (1991-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2010).

Region : Honshu Sea of Japan

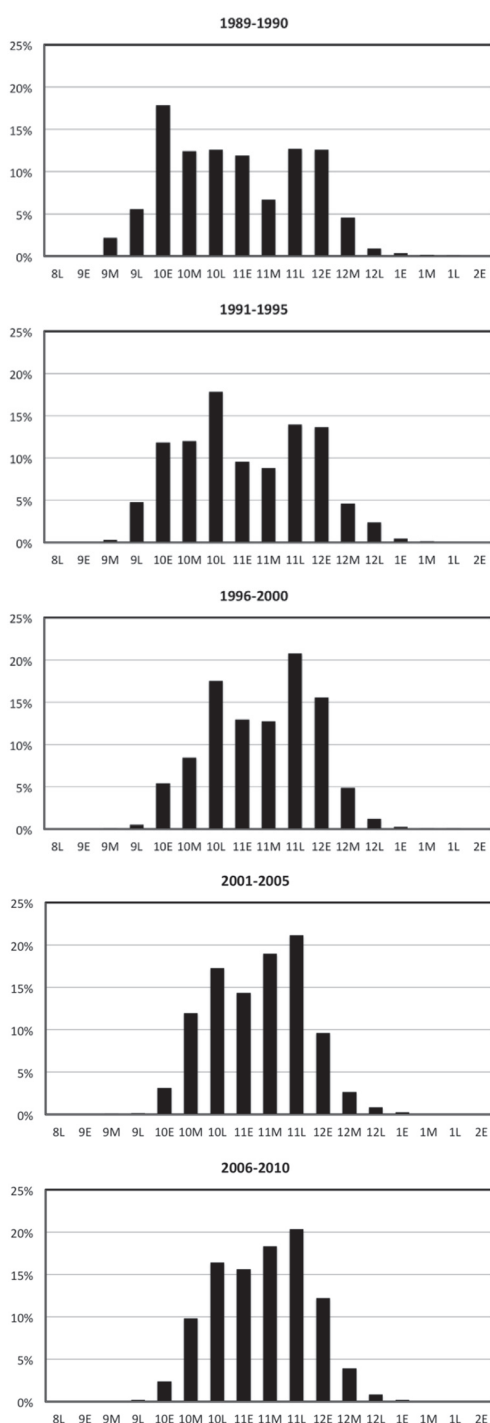


Fig. 15. Long-term changes in the timing of artificial fertilization of chum salmon eggs in the Honshu Sea of Japan region. The histograms indicate the frequent distributions of the average number of fertilized chum salmon eggs for the early (E), middle (M) and late (L) of each month in the second half of 1980s (1989-1990), the first half of 1990s (1991-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2010).

他に比べ極めて高く、その次に高いのは最も高緯度に位置する尻労であった。尻労、広田湾においては水温のトレンド値が 5°C 以下となった年は1カ年のみであったので、平均到達日は算出しなかった。また、那珂湊についてはデータセットが2カ年分しかなく、水温のトレンド値が 8°C 以下にならなかったため、同様に平均到達日は算出しなかった。

本州日本海における沿岸水温観測点（鱒ヶ沢、男鹿、加茂港及び氷見）の平均水温の変化をFig. 18bに、5, 8, 10及び 13°C 到達日の平均と標準偏差をAppendix 7に示した。沿岸水温は最も低緯度に位置する氷見が他に比べ高く、その次に高いのは次に低緯度に位置する加茂港であった。高緯度に位置する鱒ヶ沢と男鹿の水温はほとんど差が見られなかった。鱒ヶ沢においては水温のトレンド値が 5°C 以下となった年は1カ年のみであり、男鹿及び加茂港においては 5°C 以下となった年はなかったため、平均到達日は算出しなかった。また、氷見については 8°C 以下となった年はなかったため、同様に平均到達日は算出しなかった。

稚魚の放流時期と放流サイズ 各地域個体群における、年代毎の放流旬別のサケ稚魚放流数の割合（以下、放流パターンと記す）をFigs. 19-25に、放流魚の平均魚体重の経年変化をFig. 26に示した。

オホーツクにおいては、1990年代前半以降、一貫して5月下旬で全体の40-50%を放流する集中型パターンとなっている（Fig. 19）。平均の魚体重は、1980年代後半は1gを下回っていたが、1990年代は1g前後で推移し、2000年代に入ってから漸増し、近年では1.2gに達している（Fig. 26a）。

北海道日本海においては、1980年代後半～1990年代前半は4月上旬がピークであったが、1990年代後半は4月中旬、2000年代前半は4月下旬と、放流ピークが遅くなる傾向が見られた（Fig. 20）。2000年代後半は、再び4月中旬をピークとするパターンに戻っている。平均の魚体重は、1980年代後半～1990年代後半は1g前後で推移し、2000年代は1-1.2gの間で変動しながら推移している（Fig. 26b）。

根室においては、1989年代後半は5月中旬をピークとするパターンであったが、1990年代前半は5月下旬にピークが移り、1990年代後半では全体の約40%が5月下旬に放流され、オホーツクと類似した集中型パターンとなった（Fig. 21）。しかし2000年代に入からは、再び5月中旬をピークとするパターンに戻っている。平均の魚体重は、1990年代以降、若干の変動はあるが1.2-1.4gの間でほぼ横ばいに推移している（Fig. 26c）。

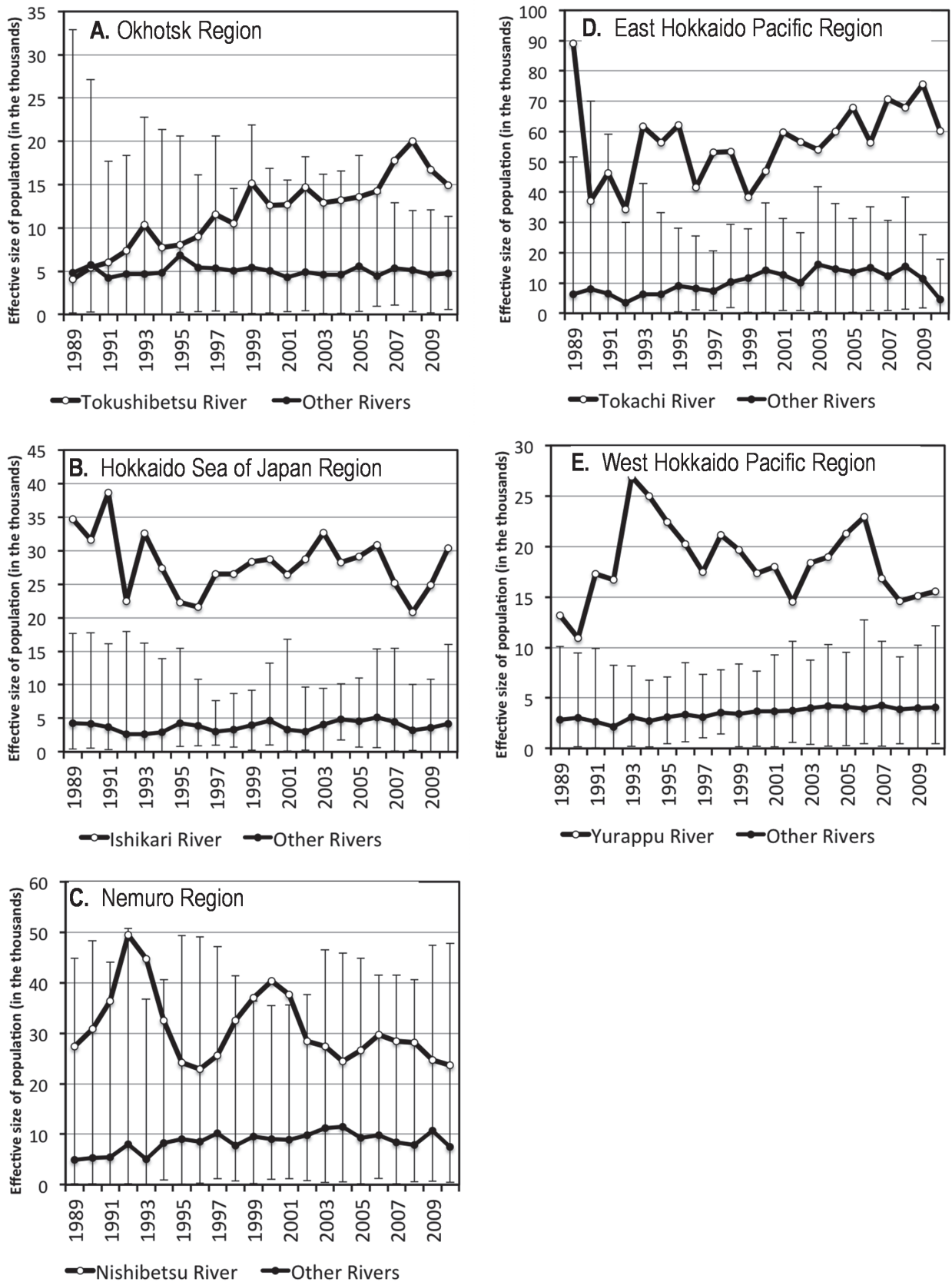


Fig. 16. Annual changes in the effective population size (N_e) of adult chum salmon among the five regional populations in Hokkaido. Bars show the range (maximum and minimum) of N_e in river populations except for a representative river population (open circles) in each regional population.

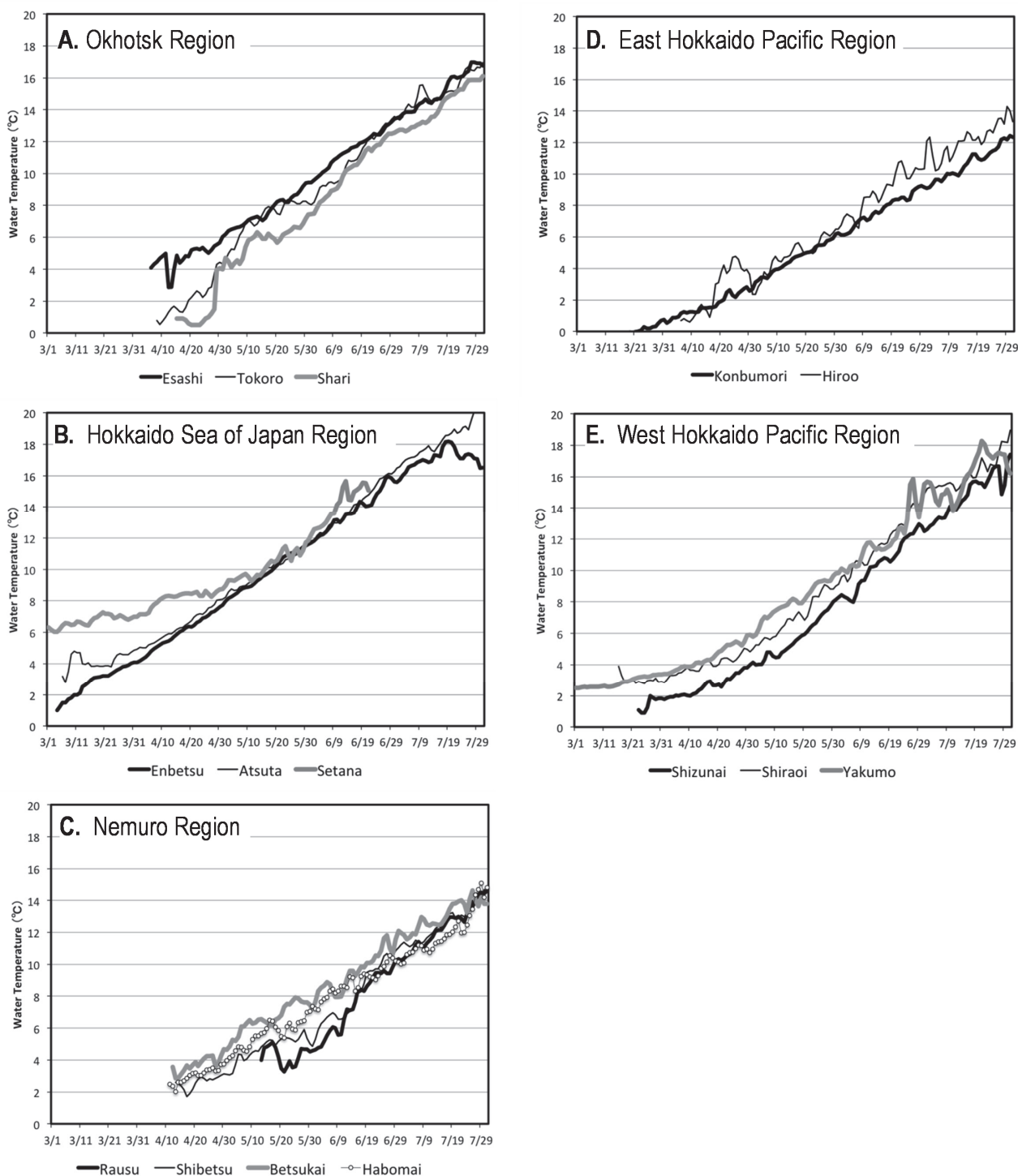


Fig. 17. Daily changes of mean coastal sea surface temperature (SST) in five regions of Hokkaido between March and July in 1995-2010. Refer to Fig. 1 for SST observing locations.

えりも以東においては、1989年代後半から1990年代前半にかけては3月以前の早期放流の割合が目立っていたが、1990年代後半からは早期放流の割合は減り、その分5月以降の割合が増えている (Fig. 22)。放流のピークは、1989年代後半では5月中旬であったが、

1990年代前半からは5月下旬にシフトし、1990年代後半及び2000年代前半では5月下旬の割合が25%を超えていた。しかし、2000年代後半ではピークが5月中旬に早まり、5月下旬の割合は15%以下に減っている。平均の魚体重は、1989年級では1g以下であったが、

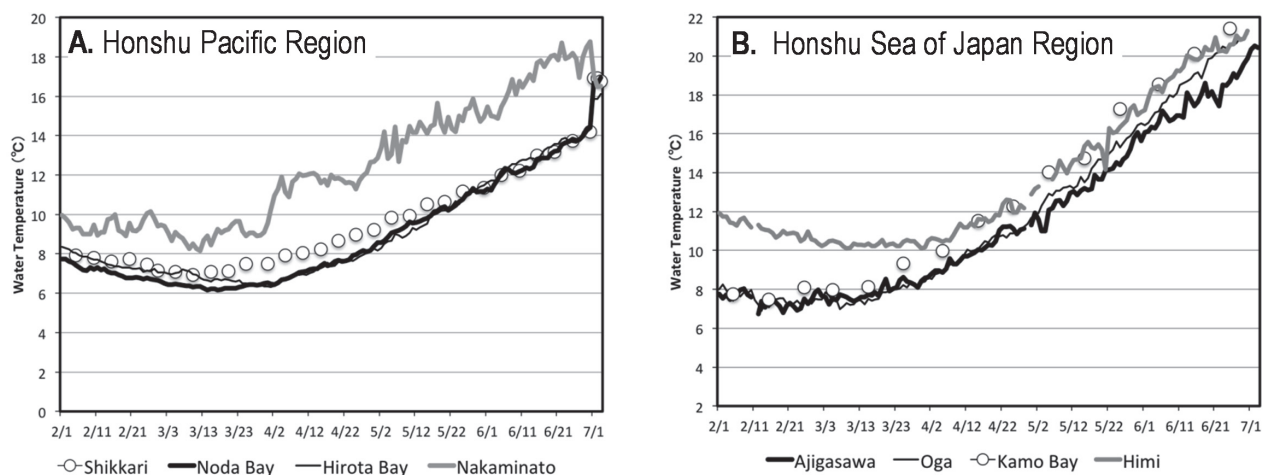
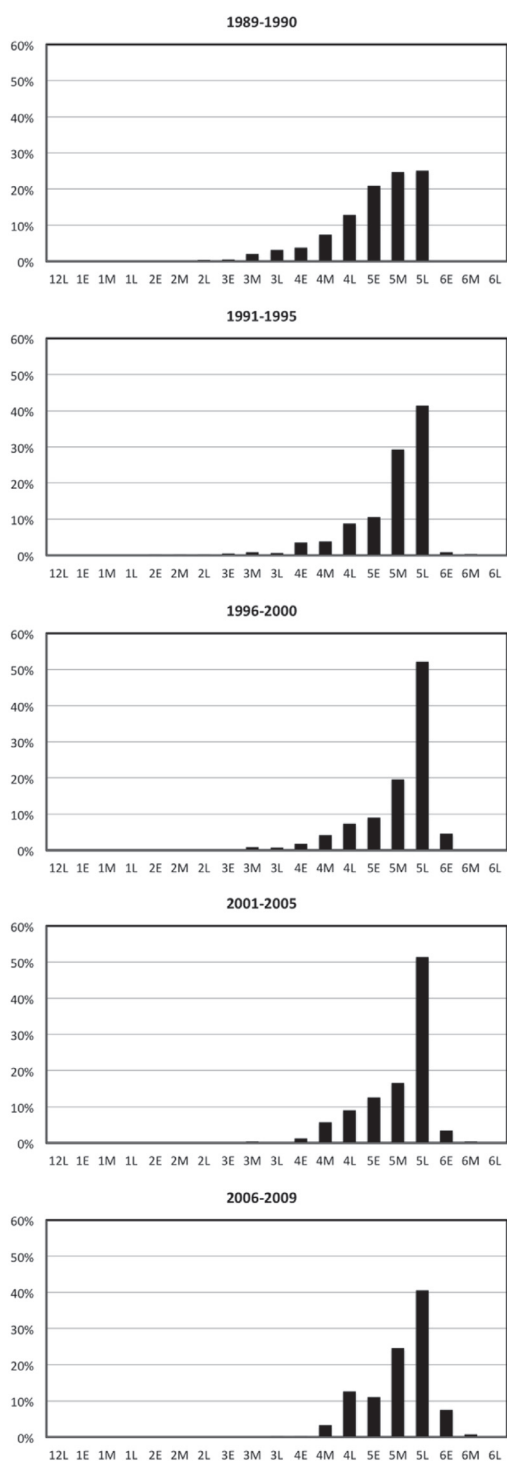


Fig. 18. Daily changes of mean coastal sea surface temperature (SST) in two regions of northern Honshu between February and July. The observed years were 1994-2010 at Shikkari, 1995-2010 at Noda and Hirota bays, 2009-2010 at Nakaminato, 1989-2010 at Ajigasawa, 2000-2010 at Oga, 2001-2008 at Kamo Bay, and 1998-2010 at Himi. Refer to Fig. 1 for SST observing locations.

Table 2. Estimated average date (month/day) when sea surface temperature (SST) increased over 5, 8, 10, and 13°C at seven regions of northern Japan.

Regions	Average month/day (\pm SD) when SST increased over			
	5 °C	8 °C	10 °C	13 °C
Okhotsk	5/7 (\pm 11.6)	5/25 (\pm 10.7)	6/7 (\pm 7.9)	6/27 (\pm 6.2)
Hokkaido Sea of Japan	4/7 (\pm 8.3)	4/30 (\pm 9.5)	5/15 (\pm 7.6)	6/5 (\pm 6.6)
Nemuro	5/20 (\pm 12.9)	6/10 (\pm 8.6)	6/24 (\pm 7.8)	7/15 (\pm 8.9)
East Hokkaido Pacific	5/20 (\pm 7.6)	6/14 (\pm 8.6)	7/2 (\pm 9.3)	8/6 (\pm 18.6)
West Hokkaido Pacific	5/1 (\pm 11.2)	5/24 (\pm 9.8)	6/6 (\pm 9.3)	6/27 (\pm 9.5)
Honshu Pacific	3/27 (\pm 6.5)	4/22 (\pm 11.5)	5/12 (\pm 13.9)	6/9 (\pm 10.9)
Honshu Sea of Japan	-	3/23 (\pm 9.5)	4/8 (\pm 11.9)	5/2 (\pm 7.5)

Region : Okhotsk



Region : Hokkaido Sea of Japan

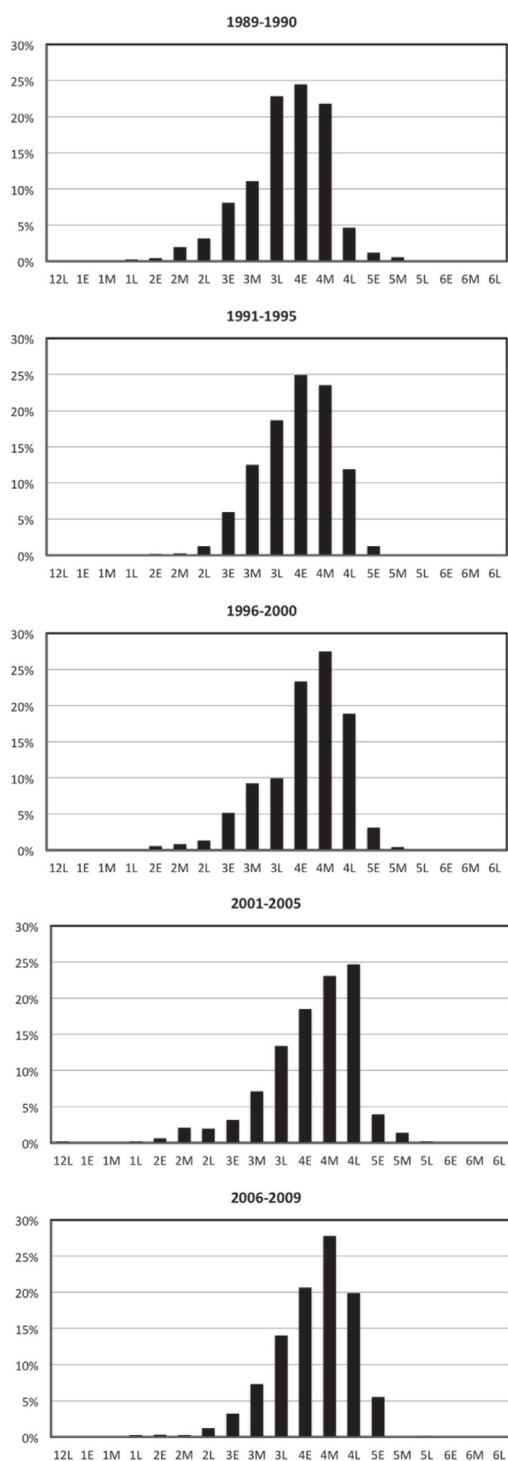


Fig. 19. Long-term changes in the timing of hatchery releases of chum salmon fry in the Okhotsk region. The histograms indicate the frequent distribution of number of released fish for early (E), middle (M) and late (L) of each month in the second half of 1980s (1989-1990), the first half of 1990s (1991-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2009).

Fig. 20. Long-term changes in the timing of hatchery releases of chum salmon fry in the Hokkaido Sea of Japan region. The histograms indicate the frequent distribution of number of released fish for early (E), middle (M) and late (L) of each month in the second half of 1980s (1989-1990), the first half of 1990s (1991-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2009).

Region : Nemuro

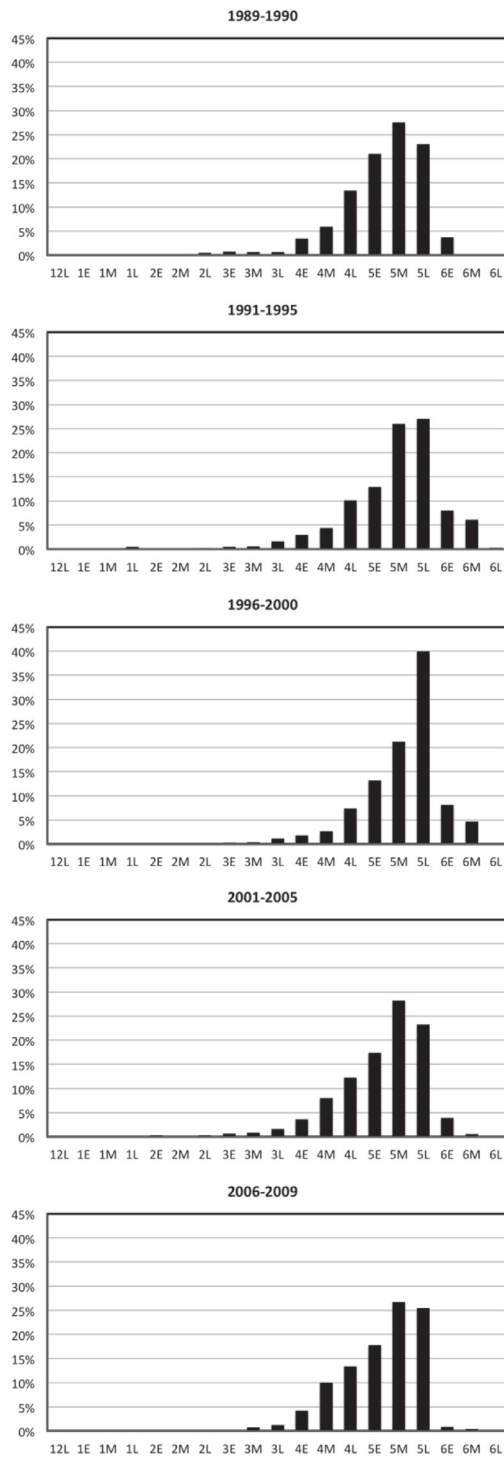


Fig. 21. Long-term changes in the timing of hatchery releases of chum salmon fry in the Nemuro region. The histograms indicate the frequent distribution of number of released fish for early (E), middle (M) and late (L) of each month in the second half of 1980s (1989-1990), the first half of 1990s (1991-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2009).

Region : East Hokkaido Pacific

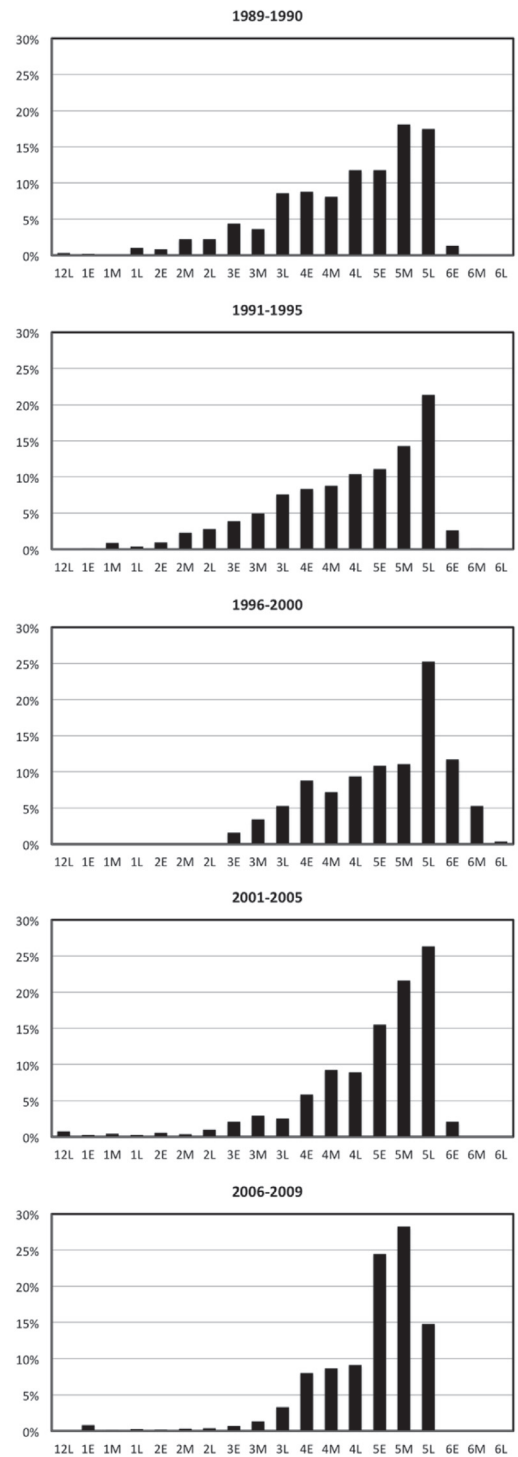
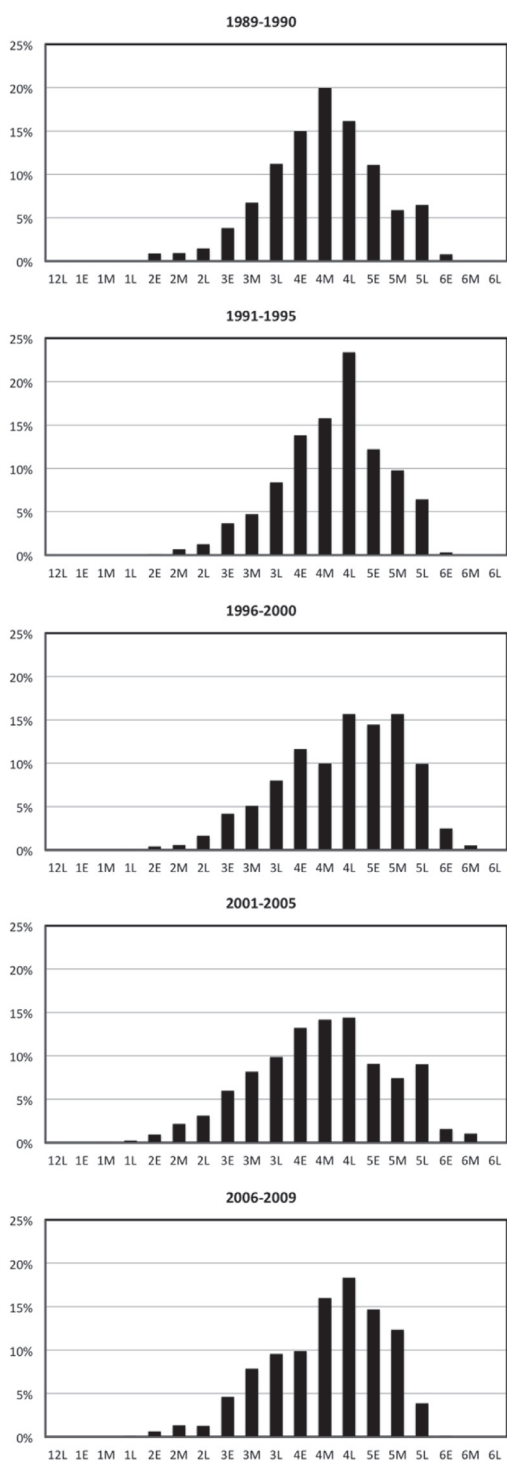


Fig. 22. Long-term changes in the timing of hatchery releases of chum salmon fry in the East Hokkaido Pacific region. The histograms indicate the frequent distribution of number of released fish for early (E), middle (M) and late (L) of each month in the second half of 1980s (1989-1990), the first half of 1990s (1991-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2009).

Region : West Hokkaido Pacific



Region : Honshu Pacific

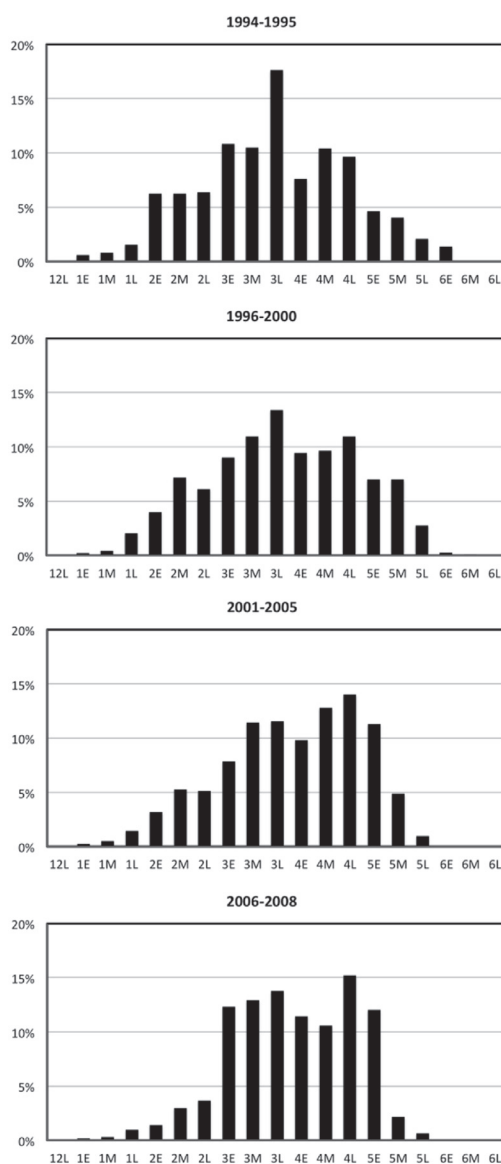


Fig. 23. Long-term Changes in the timing of hatchery releases of chum salmon fry in the West Hokkaido Pacific region. The histograms indicate the frequent distribution of number of released fish for early (E), middle (M) and late (L) of each month in the second half of 1980s (1989-1990), the first half of 1990s (1991-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2009).

Fig. 24. Long-term changes in the timing of hatchery releases of chum salmon fry in the Honshu Pacific region. The histograms indicate the frequent distribution of number of released fish for early (E), middle (M) and late (L) of each month in the first half of 1990s (1994-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2008).

Region : Honshu Sea of Japan

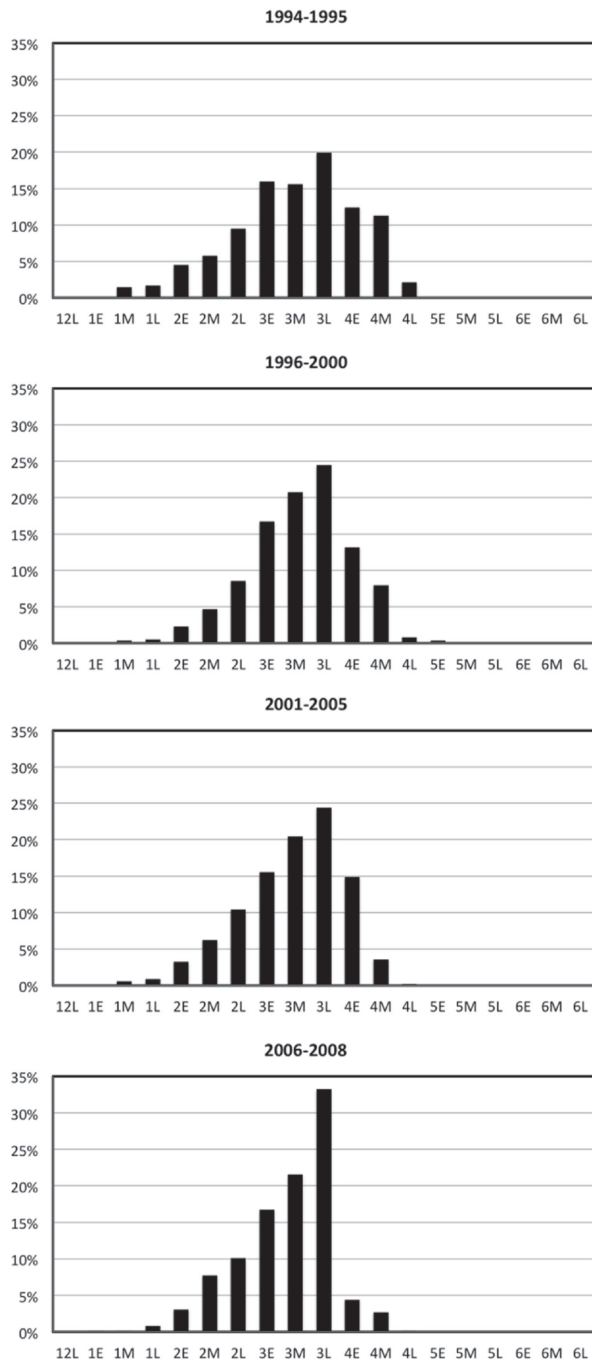


Fig. 25. Long-term changes in the timing of hatchery releases of chum salmon fry in the Honshu Sea of Japan region. The histograms indicate the frequent distribution of number of released fish for early (E), middle (M) and late (L) of each month in the first half of 1990s (1994-1995), the second half of 1990s (1996-2000), the first half of 2000s (2001-2005), and the second half of 2000s (2006-2008).

その後急激に大型化し、1996年級では1.5gを超えている (Fig. 26d)。それ以降は変動しながら漸増し、近年では1.6 g前後に達している。

えりも以西においては、1989年代後半及び1990年代前半ではそれぞれ4月中旬及び4月下旬をピークとする正規分布型のパターンを示していたが、1990年代後半では4月の放流割合が減り、5月の割合が増えた (Fig. 23)。2000年代前半では再び4月の割合が増え、2000年代後半には4月下旬をピークとする正規分布型のパターンに近い形になった。平均の魚体重は、1990年代以降、1.2-1.5 gの範囲で変動している (Fig. 26e)。

本州太平洋では、1990年代前半は3月下旬に明瞭なピークをもつ放流パターンであったが、1990年代後半はそのピークが明瞭ではなく、2000年代にはピークが4月下旬にシフトした (Fig. 24)。2000年代後半では2月以前や5月中旬以降の放流割合が激減し、3月上旬から5月上旬の間に放流が集約されている。平均の魚体重は、1.2-1.5 gの範囲で変動している (Fig. 26f)。

本州日本海では、3月下旬に明瞭なピークをもつ放流数の時期別割合となっている (Fig. 25)。その割合は1990年代前半では約20%であったが、1990年代後半から2000年代前半では約25%に増え、2000年代後半には30%を超えている。その一方で、4月以降の放流割合は年代を追う毎に減少している。平均の魚体重は、1.0-1.2 gの範囲で変動している (Fig. 26g)。

考 察

人工ふ化放流の実施体制 我が国では、200水系においてサケ親魚の捕獲及び採卵が行われている。また、得られた種苗は246箇所のふ化施設で飼育され、そこで生産された稚魚が252水系に放流されている。放流水系に比べて捕獲水系の数が少ない理由は、北海道において、増殖事業コスト削減のために捕獲河川の集約化が進められたためである (竹内, 2005)。

246のふ化施設のうち、9割以上が民間団体によって運営されている。民間団体によるふ化施設の運営体制は、地域によって様々であり、本州日本海地区のようにふ化施設の老朽化や後継者不足が深刻となっている地域も存在する (本州鮭鱒増殖振興会, 1996)。現在の資源水準を将来に渡り持続していくためには、民間団体による人工ふ化放流事業の持続が必要であり、補助金の維持や適切な技術指導、講習会の開催などの施策を講じていく必要がある。

本州太平洋においては、2011年3月11日に発生した東日本大震災によって、岩手県内の27施設、宮城県内の14施設が被災した (伊藤, 2012)。さらに、福島県に

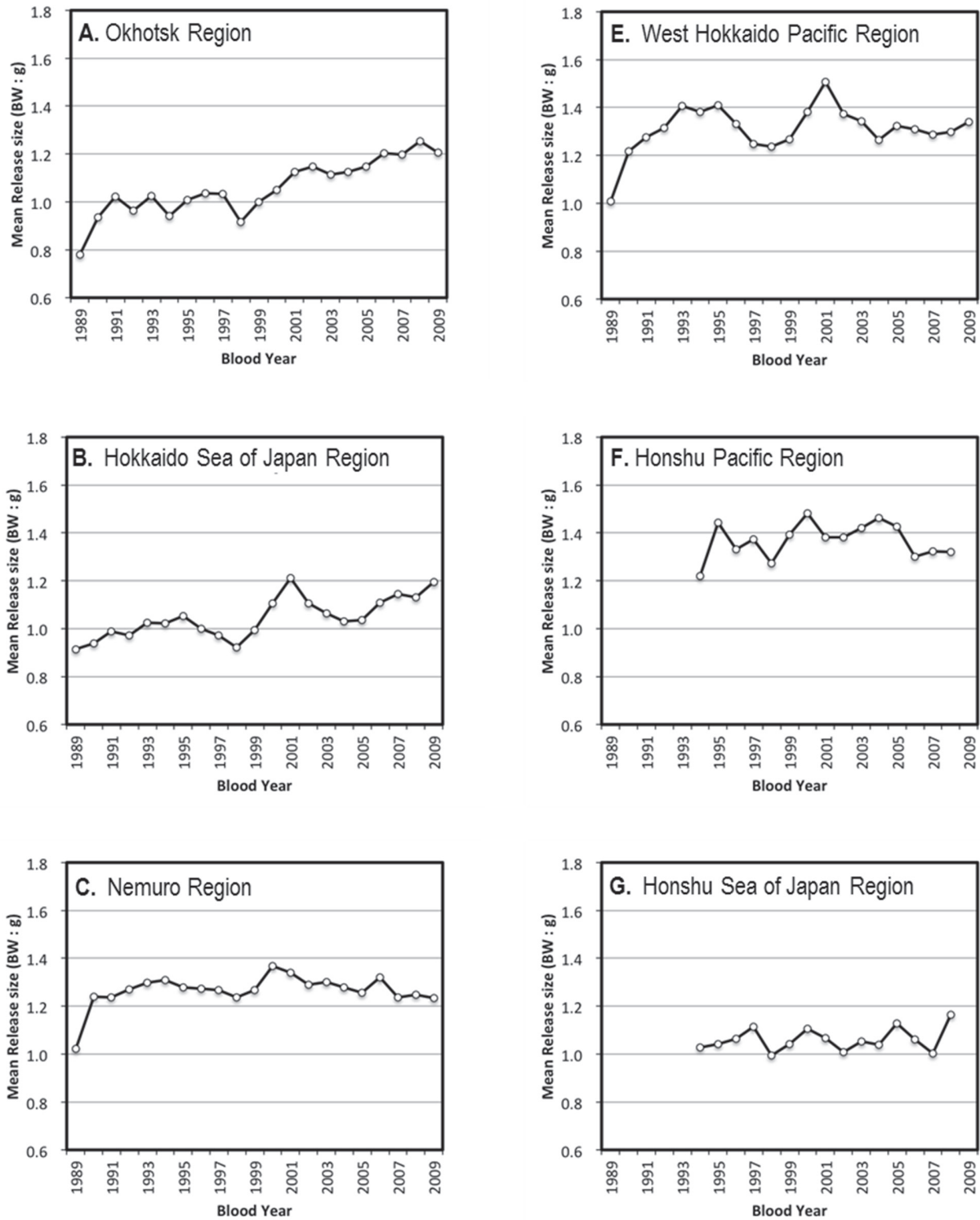


Fig. 26. Annual changes in the mean body weight (g) of released chum salmon fry in the seven regions of Japan.

つについては東京電力福島第一原発事故の影響もあり7施設が稼働できない状態となっている。水産総合研究センターも震災発生直後から復興支援活動を行なっているが(伊藤, 2012), 完全な復旧にはまだ時間を要する。

採卵時期 採卵パターンの変遷については、オホーツクの様に変化の少ない地域と、北海道日本海や根室の様に変化のみられる地域があった。採卵パターンの変化が見られる理由は、産業的なニーズに合わせた人為的コントロールが行われてきたためと考えられる。例えば、1980年代後半及び1990年代前半の根室では11月下旬の採卵数が最も多い。この理由は明確でないが、漁期後期に來遊する群の数を増やそうという意図があったと推察される。しかし、1990年代後半以降、10月下旬をピークとする正規分布型に近い採卵パターンに変わっているが、これは後期群の來遊数が意図したように増えなかったためと考えられる。また、1980年代後半及び1990年代前半の本州日本海で10月上旬及び下旬の採卵数が最も多いのは、漁期前期に來遊する群の数を増やすため、1993年まで北海道から発眼卵を移殖したためと考えられる。この移殖群については、山形県の月光川などで定着していることが遺伝的解析からも示唆されている(Urawa, 2002)。このような採卵時期のコントロールや移殖が地域個体群の特性や資源量にどのような影響を与えたかについては、今後も十分な検証を行う必要がある。

集団の有効な大きさ 有効集団サイズ(N_e)は保全生物学では最も重要な指標の1つとされている(横田, 2008)。遺伝的多様性を維持するために最低限必要となる N_e は、短期的には50、長期的には500という議論が保全生物学ではよく紹介されている。しかし、突然変異率と遺伝的浮動のバランスを得るのは N_e が1,000~5,000程度必要という説もあり、適切な N_e については現在も論争中である(横田, 2008)。今回調べた河川個体群のうち、水産総合研究センターが地域個体群の保全を目的としたふ化放流を実施している5河川における N_e は、5,000を大きく上回っている。他の河川における平均 N_e は2,000以上となっている。なお、本州の2地域個体群においては、親魚の捕獲数のデータは存在するものの、実際に採卵に供した親魚の数についてはほとんど記録がない。本州の2地域個体群については、北海道と比べて親魚の捕獲数が少ない場合が多く、遺伝的多様性もやや低いことが知られている(Beacham *et al.*, 2008)。今後、本州においても採卵親魚に関する実態を把握する必要がある。

日本系サケの遺伝的多様性は、他国に分布するサケ

と比べて高いことが複数の遺伝分析手法により報告されている(Sato *et al.*, 2004; Beacham *et al.*, 2008; 佐藤・浦和, 2015)。生息環境の変動や病気の発生などに適応するため、個体群内に高い遺伝的多様性を維持することは重要と考えられる。遺伝的多様性を今後とも維持していくためには、人工ふ化放流事業の実施者による遺伝的多様性の保全の重要性についての理解の深化が必要である。

稚魚放流時期の沿岸水温 24の観測地点において、水温が5, 8, 10及び13℃に達する時期を見ると、北よりも南の方が、そして東(太平洋側)よりも西(日本海側)の方が早い傾向がみられた。これは、北日本近海を流れる海流と関連すると考えられる。日本海においては、南から北に向かって対馬暖流が流れており、その一部は、宗谷海峡からオホーツク海へ流れ出し、北海道沿岸を南下する宗谷暖流となる(青田ら, 1989)。本州日本海、北海道日本海及びオホーツクの各観測地点の水温は、この流れに沿う形で順に昇温していた。一方、水温の上昇が最も遅いえりも以東では、岸寄りを東から西に流れる「沿岸親潮」もしくは「道東沿岸流」と呼ばれる寒流(小笠原, 1987; 磯田ら, 2003; 田中, 2002)が水温に大きく影響していると考えられる。また、本州太平洋で最も高緯度に位置する観測地点である青森県尻尻では、南に位置する岩手県の野田湾や広田湾よりも水温の上昇が早かったが、これは津軽海峡から太平洋へ流れ出す津軽暖流の影響を受けると考えられる。

このように海流は沿岸水温に強く影響すると考えられるが、海流そのものが降海したサケ稚魚に直接与える影響について、日本での研究事例は極めて少ない(Fukuwaka and Suzuki, 1998)。近年、えりも以東に放流された耳石標識サケ稚魚が、放流後にえりも以西の白老沿岸まで西側へ移動している例が報告されている(高橋, 2010)。これは前述の沿岸親潮の流路と一致する方向への移動であり、海流によって物理的に西方向に移送された可能性が考えられる。このような移動が恒常的にみられるのであれば、えりも以東のサケ稚魚の降海後の生息場所は、放流場所周辺ではなく、もっと西の方向にあることになる。その場合、現行のように放流場所周辺の定点における観測結果をもって稚魚の生息環境と見なすことは妥当ではないかも知れない。今後は、定点観測による環境条件の把握だけでなく、リモートセンシングなどの先進技術も活用しながら、海流の動きや適水温帯の面積など、2次元的な視点で沿岸環境を評価していくことも重要である。

稚魚の放流時期と放流サイズ 稚魚の放流時期については、1980年代後半から1990年代後半にかけて放流時期が遅くなる傾向がみられた。これは当時、前述した適期放流や適期・適サイズ放流に適合する時期に放流するという意図が働いたことが考えられる。しかしながら、2000年代前半以降、北海道の根室及び太平洋側では放流時期が再び早まる傾向がみられる。この理由としては、2003年に薬事法の改正が行われたことによって、それまで稚魚の寄生虫駆除に有効であったホルマリン薬浴が出来なくなり（浦和, 2003）、稚魚を長期間飼育することが難しくなったことも一因と考えられる。

稚魚の放流サイズについては、地域個体群によって傾向に差はあるが、どの地域個体群も概ね体重1gを上回った状態で、増加もしくは横ばいで推移している。これは適期・適サイズ放流で1g以上での放流を推奨してきたことと、放流時期を遅らせることで飼育期間が長くなったことに起因すると考えられる。

実際の稚魚の放流時期及び放流サイズが、適期・適サイズ放流とよく一致している地域個体群の例として、オホーツク及び本州日本海が挙げられる。ここでは適期放流の時期を沿岸水温が5℃になる時期から10℃になる時期までとし、8℃になる時期をその中心と見なして考えることにする。オホーツクでは、沿岸水温が5、8及び10℃に達する時期が、それぞれ5月上旬、5月下旬及び6月上旬となっている。オホーツクにおける5月上旬から6月上旬までの稚魚放流数の割合は全体の70～80%で、ピークである5月下旬の割合は全体の40～50%に達している。このパターンは1990年代以降ほぼ変わっていない。放流サイズについても、2000年代以降1g以上での放流が続けられており、緩やかながら大型化する傾向にある。近年、7地域個体群の中で資源水準が最も高いオホーツク地域個体群は、離岸したサケ幼魚の夏から秋に掛けての生息場所であるオホーツク海（浦和, 2000, 2015）に面し、地理的に好適な環境にある。さらに、大半のサケ稚魚が適期に適サイズで放流されるため、これらは沿岸における初期減耗を逃れ、オホーツク海へ沖合移動出来る可能性が高いと考えられる。

一方、本州日本海では、放流時期における沿岸水温は常に5℃を上回っており、8℃及び10℃に達する時期は、それぞれ3月下旬及び4月上旬となっている。本州日本海では4月上旬までに全体のほぼ90%が放流されており、ピークは各年代を通して3月下旬である。また、放流サイズも1gを超えている。このように適期・適サイズ放流が行われているにもかかわらず、本州日本海の資源水準は、オホーツクとは対照的に、7地域

個体群の中で最も低い。このことは、適期・適サイズ放流で指標となった時期や体サイズが、どこの地域でも当てはまる訳ではないことを示唆している。

サケの産卵する期間に比べて、稚魚の降海する時期はより短い期間に集中する傾向がある（Beacham and Murray, 1986）。これは、サケが産卵場所及び産卵時期に適した生活史形質を進化させることで、稚魚が降海するタイミングを生残に適した時期にある程度収斂させているためと考えられる（斎藤ら, 2015）。つまり、この時期が、その地域や河川において稚魚を放流するのに最適な時期であると考えられる。今後は、各地域個体群の持つ特性を十分に理解し、それぞれに最適な放流時期やサイズを追求していくことが必要である。

謝 辞

本稿を取りまとめるにあたり、基礎データとして用いたモニタリングデータは、北海道、青森県、岩手県、宮城県、福島県、茨城県、秋田県、山形県、新潟県、富山県及び石川県の各漁業協同組合、民間増殖団体、行政機関及び調査研究機関の方々の長年にわたるご理解とご協力によって収集された。ここに深く感謝の意を表す。また、それらのデータの取りまとめに当たってご尽力頂いた東北区水産研究所さけます調査普及グループ（現在はさけます資源グループ）及び日本海区水産研究所さけます調査普及グループの方々、文献や資料の提供にご協力頂いた北海道立総合研究機構さけます・内水面試験場の宮腰靖之研究主幹、北海道区水産研究所さけます資源部ふ化放流技術グループの佐藤俊平主任研究員、中島 歩主任技術員と高橋 悟技術員、繁殖保全グループの岡本康孝技術員、資源評価グループの佐々木系技術員、考察を進めるに当たり有益な助言を頂いた北海道区水産研究所業務支援課の安達宏泰課長とさけます資源部資源評価グループの斎藤寿彦グループ長に感謝する。最後に、原稿の作成や修正等についてご指導いただいた北海道区水産研究所さけます資源部の浦和茂彦次長に深く感謝申し上げる。

文 献

- 青森県水産試験場, 1990: 平成元年度漁況・海況予報事業結果報告書, 25.
- 青森県水産試験場, 1993: 漁況・海況予測事業結果報告書 平成2年度 平成3年度 平成4年度, 26-28.
- 青森県水産試験場, 1993-2002: ウオダス漁海況速報 No. 559-1191.
- 青森県水産総合研究センター, 2002-2009: ウオダス漁

- 海況速報 No.1192-1658.
- 青森県産業技術センター水産総合研究所, 2009-2010: ウオダス漁海況速報 No. 1659-1721.
- 青田昌秋, 石川正雄, 山田俊郎, 1989: 宗谷海峡の流れについて. 低温科学.物理編, **47**, 147-160.
- Beacham T. D., and Murray C. B., 1986: Comparative developmental biology of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) from the Fraser River, British Columbia. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **43**, 252-262.
- Beacham T. D., Sato S., Urawa S., Le K. D., and Wetklo M., 2008: Population structure and stock identification of chum salmon *Oncorhynchus keta* from Japan determined by microsatellite DNA variation. *Fish. Sci.*, **74**, 983-994.
- Fukuwaka M., and Suzuki T., 1998: Role of a riverine plume as a nursery area for chum salmon *Oncorhynchus keta*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **173**, 289-297.
- Hartl D. L., 1981: Primer of population genetics. Sinauer Associates Inc. 192 pp.
- 北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会, 1988: 北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史. 北海道さけ・ますふ化放流百年記念事業協賛会, 1260 pp.
- 北海道さけ・ますふ化場, 1976: 沿岸生育環境調査報告(沿岸サケマス稚魚追跡調査), 9 pp.
- 北海道さけ・ますふ化場, 1996: 稚魚の放流. さけ・ますふ化事業実施マニュアル. pp. 56-57.
- 本州鮭鱒増殖振興会, 1996: 本州鮭鱒四十年史. 135 pp.
- 入江隆彦, 1990: 海洋生活初期のサケ稚魚の回遊に関する生態学的研究. 西水研研報, **68**, 1-142.
- 伊藤二美男, 2012: さけますふ化放流チームの復興支援活動～来春の放流をめざして～. SALMON情報, **6**, 3-5.
- 磯田 豊, 黒田 寛, 明正達也, 本田 聡, 2003: 沿岸親潮の海洋構造とその季節変化. 沿岸海洋研究, **41**(1), 5-12.
- 小林哲夫, 1977: 沿岸滞泳期におけるサケ・マス幼魚期の生態. 水産海洋研究会報, **31**, 39-44.
- 小林哲夫, 2009: 日本サケ・マス増殖史. 北大出版会, 札幌, 305 pp.
- 久保達郎 (編), 1988: 日本のサケマス—その生物学と増殖事業. たくぎん総合研究所, 250 pp.
- 真山 紘, 1986: そ上・産卵時期から見たサケ属魚類の種特性. 東京大学海洋研究所大槌臨海研究センター報告, **12**, 119-121.
- Miyakoshi Y., Fujiwara M., Ando D., Shimada H., Sawada M., Asami H., and Nagata M., 2007: Distribution and growth of juvenile chum salmon in the Abashiri Bay, eastern Hokkaido, in relation to sea surface temperature. *NPAFC Technical Report*, **7**, 21-22.
- 永田光博, 宮腰靖之, 藤原真, 安藤大成, 津田真由美, 嶋田宏, 浅見大樹, 2006: サケ・マス資源と沿岸環境. 月刊海洋, **38**(9), 637-646.
- 野川秀樹, 1992: 本州日本海沿岸におけるサケ増殖と資源動態. 北海道さけ・ますふ化場技術情報, **161**, 29-43.
- 小笠原惇六, 1987: 親潮と道東沿岸流. 月刊海洋科学, **19**, 21-25.
- Russell E. S., 1931: Some theoretical considerations on the 'overfishing' problem. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, **6** (1), 3-20.
- 斎藤寿彦, 岡本康孝, 佐々木 系, 2015: 日本系サケの生物学的特性. 水産総合研究センター研究報告, **39**, 85-120.
- さけ・ます資源管理センター, 1999: 平成9年度さけ・ます資源管理センター業務報告書, 108 pp.
- Sasaki K., and Takahashi S., 2011: Preliminary 2010 salmon enhancement production in Japan. NPAFC Doc. 1345. 3 pp.
- Sato S., Kojima H., Ando J., Ando H., Wilmot R. L., Seeb L. W., Efremov V., LeClair L., Buchholz W., Jin D. H., Urawa S., Kaeriyama M., Urano A., and Abe S., 2004: Genetic population structure of chum salmon in the Pacific Rim inferred from mitochondrial DNA sequence variation. *Environ. Biol. Fishes*, **69**, 37-50.
- 佐藤俊平, 浦和茂彦, 2015: 日本系サケの遺伝的個体群構造. 水産総合研究センター研究報告, **39**, 21-47.
- 水産総合研究センターさけますセンター, 2010: さけます人工ふ化放流計画集録(平成22年度), 103 pp.
- 高橋史久, 2009: これまでの耳石温度標識魚から得られた知見. SALMON情報, **3**, 6-7.
- 高橋史久, 2010: 耳石温度標識放流魚から得られた知見 その2(放流時期とサイズの検討). SALMON情報, **4**, 12-14.
- 高橋 悟, 2013: サケの採卵時期の違いによる親魚の回帰時期と回帰年齢. SALMON情報, **7**, 16-19.
- 竹内勝己, 2005: サケの自然再生産調査について. 試験研究は今, **543**, 1-3.
- 田中伊織, 2002: 北海道周辺(3)太平洋. 育てる漁業, **352**, 3-7.
- 田中昌一, 1969: 資源管理の基礎と方法. 「つくる漁業

- 水産資源増殖の手引」(「つくる漁業」編集委員会編), 社団法人資源協会, 東京, pp. 88-100.
- 浦和茂彦, 2000: 日本系サケの回遊経路と今後の研究課題. さけ・ます資源管理センターニュース, **5**, 3-9.
- Urawa S., 2002: Genetic conservation of salmon in Japan: a case study. Proceedings of 2nd International Symposium on Stock Enhancement and Sea Ranching, Kobe. p. 73.
- 浦和茂彦, 2003: さけ・ます類に外部寄生する原虫類の病理と対策. さけ・ます資源管理センターニュース, **11**, 1-6.
- 浦和茂彦, 2015: 日本系サケの海洋における分布と回遊. 水産総合研究センター研究報告, **39**, 9-19.
- Wright, S., 1931: Evolution in Mendelian populations. *Genetics*, **16**, 97-159.
- 山形県水産試験場, 2003-2010: 平成12-20年度山形県水産試験場事業報告.
- 横田賢史, 2008: 集団有効サイズとその推測. 「水産資源の増殖と保全」(北田修一, 帰山雅秀, 浜崎活幸, 谷口順彦編著), 成山堂書店, 東京, pp. 171-189.

Appendix 1. Estimated average date (month/day) when the sea surface temperature (SST) increased over 5, 8, 10, and 13°C at three coastal stations in the Okhotsk region. Refer to Fig. 1 for SST observing stations.

Stations	Average date (\pm SD) when SST increased over			
	5 °C	8 °C	10 °C	13 °C
Esashi	4/27 (\pm 5.3)	5/19 (\pm 9.1)	6/3 (\pm 6.8)	6/24 (\pm 4.0)
Tokoro	5/7 (\pm 5.2)	5/25 (\pm 3.3)	6/5 (\pm 2.2)	6/23 (\pm 1.9)
Shari	5/19 (\pm 6.7)	6/2 (\pm 9.2)	6/13 (\pm 6.7)	7/1 (\pm 6.5)
Mean	5/7 (\pm 11.6)	5/25 (\pm 10.7)	6/7 (\pm 7.9)	6/27 (\pm 6.2)

Appendix 2. Estimated average date (month/day) when the sea surface temperature (SST) increased over 5, 8, 10, and 13°C at three coastal stations in the Hokkaido Sea of Japan region. Refer to Fig. 1 for SST observing stations.

Stations	Average date (\pm SD) when SST increased over			
	5 °C	8 °C	10 °C	13 °C
Enbetsu	4/10 (\pm 7.9)	5/4 (\pm 6.1)	5/18 (\pm 5.6)	6/7 (\pm 5.0)
Atsuta	4/4 (\pm 7.4)	5/2 (\pm 7.0)	5/16 (\pm 6.9)	6/6 (\pm 6.2)
Setana	-	4/15 (\pm 6.6)	5/5 (\pm 5.1)	5/31 (\pm 8.7)
Mean	4/7 (\pm 8.3)	4/30 (\pm 9.5)	5/15 (\pm 7.6)	6/5 (\pm 6.6)

Appendix 3. Estimated average date (month/day) when the sea surface temperature (SST) increased over 5, 8, 10, and 13°C at four coastal stations in the Nemuro region. Refer to Fig. 1 for SST observing stations.

Stations	Average date (\pm SD) when SST increased over			
	5 °C	8 °C	10 °C	13 °C
Rausu	5/30 (\pm 7.6)	6/17 (\pm 6.8)	6/29 (\pm 6.6)	7/17 (\pm 7.1)
Shibetsu	5/25 (\pm 6.6)	6/13 (\pm 5.3)	6/25 (\pm 5.8)	7/14 (\pm 7.8)
Betsukai	5/4 (\pm 8.1)	5/31 (\pm 5.9)	6/16 (\pm 6.6)	7/10 (\pm 8.4)
Habomai	5/12 (\pm 10.1)	6/6 (\pm 6.3)	6/24 (\pm 7.2)	7/18 (\pm 10.7)
Mean	5/20 (\pm 12.9)	6/10 (\pm 8.6)	6/24 (\pm 7.8)	7/15 (\pm 8.9)

Appendix 4. Estimated average date (month/day) when the sea surface temperature (SST) increased over 5, 8, 10, and 13°C at two coastal stations in the East Hokkaido Pacific region. Refer to Fig. 1 for SST observing stations.

Stations	Average date (\pm SD) when SST increased over			
	5 °C	8 °C	10 °C	13 °C
Konbumori	5/20 (\pm 8.5)	6/17 (\pm 4.9)	7/6 (\pm 8.0)	8/13 (\pm 16.8)
Hiroo	5/20 (\pm 4.5)	6/7 (\pm 10.9)	6/24 (\pm 5.4)	7/19 (\pm 5.4)
Mean	5/20 (\pm 7.6)	6/14 (\pm 8.6)	7/2 (\pm 9.3)	8/6 (\pm 18.6)

Appendix 5. Estimated average date (month/day) when the sea surface temperature (SST) increased over 5, 8, 10, and 13°C at three stations in the West Hokkaido Pacific region. Refer to Fig. 1 for SST observing stations.

Stations	Average date (\pm SD) when SST increased over			
	5 °C	8 °C	10 °C	13 °C
Shizunai	5/10 (\pm 6.5)	6/1 (\pm 6.8)	6/13 (\pm 7.1)	7/3 (\pm 8.0)
Shiraoi	4/29 (\pm 6.4)	5/21 (\pm 6.8)	6/3 (\pm 6.4)	6/23 (\pm 4.9)
Yakumo	4/20 (\pm 8.1)	5/15 (\pm 7.2)	5/30 (\pm 7.5)	6/22 (\pm 9.9)
Mean	5/1 (\pm 11.2)	5/24 (\pm 9.8)	6/6 (\pm 9.3)	6/27 (\pm 9.5)

Appendix 6. Estimated average date (month/day) when the sea surface temperature (SST) increased over 5, 8, 10, and 13°C at four coastal stations in the Honshu Pacific region. Refer to Fig. 1 for SST observing stations.

Station	Average date (\pm SD) when SST increased over			
	5 °C	8 °C	10 °C	13 °C
Shikkari	-	4/16 (\pm 10.3)	5/11 (\pm 7.3)	6/8 (\pm 6.2)
Noda Bay	3/27 (\pm 6.5)	4/26 (\pm 10.6)	5/17 (\pm 8.4)	6/12 (\pm 7.4)
Hirota Bay	-	4/25 (\pm 11.2)	5/15 (\pm 11.8)	6/12 (\pm 8.8)
Nakaminato	-	-	3/27 (\pm 17.5)	5/4 (\pm 11.0)
Total	3/27 (\pm 6.5)	4/22 (\pm 11.5)	5/12 (\pm 13.9)	6/9 (\pm 10.9)

Appendix 7. Estimated average date (month/day) when the sea surface temperature (SST) increased over 5, 8, 10, and 13°C at four coastal stations in the Honshu Sea of Japan region. Refer to Fig. 1 for SST observing stations.

Station	Average date (\pm SD) when SST increased over			
	5 °C	8 °C	10 °C	13 °C
Ajigasawa	-	3/26 (\pm 7.5)	4/15 (\pm 5.6)	5/8 (\pm 3.9)
Oga	-	3/23 (\pm 7.1)	4/12 (\pm 4.4)	5/4 (\pm 3.3)
Kamo Bay	-	3/12 (\pm 9.5)	4/4 (\pm 5.2)	4/27 (\pm 4.2)
Himi	-	-	3/17 (\pm 8.8)	4/23 (\pm 4.3)
Mean	-	3/23 (\pm 9.5)	4/8 (\pm 11.9)	5/2 (\pm 7.5)