

宮城県におけるサケの来遊と河川捕獲の動向

誌名	宮城県水産研究報告
ISSN	13464329
著者名	白石, 一成 上田, 賢一 野知里, 優希
発行元	宮城県水産研究開発センター
巻/号	19号
掲載ページ	p. 27-35
発行年月	2019年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



宮城県におけるサケの来遊と河川捕獲の動向

白石 一成*1・上田 賢一*1・野知里 優希*2

Fluctuations in return and caught fish in rivers of chum salmon
Oncorhynchus keta (Walbaum) in Miyagi Prefecture

Kazunari SHIRAIISHI*1, Ken-ichi UEDA*1 and Yuki NOCHIRI*2

キーワード：サケ，回帰率，河川捕獲，稚魚放流，後期群

日本に来遊するサケ資源はその多くが、1880年代から各地で実施された人工孵化放流事業により造成されたものである^{1,2}。以降、1970年代から、国の積極的支援のもと稚魚放流技術の確立が図られて稚魚放流数が急増し、1980年代からは、全国で毎年18~20億尾のサケ稚魚が放流されている³。

1990年代には、放流数の増加に加え、オホーツク周辺海域の温暖化による1年魚の成長への好影響を受けたことで、全国のサケ来遊数が、単年度で8,900万尾と最多を記録した^{1,3,4}。そのうち、全国の来遊数は、大きな変動を繰り返しながらも、北太平洋海域や日本周辺海域の水温上昇といった海洋環境の影響を受けて減少し、2016~2017年度には2,000~3,000万尾となった⁴⁻⁶。宮城県のサケ来遊数は、2008年度に344万尾と最多を記録して以降、増減の変動を繰り返しながら全体的には減少し、2016~2017年度には約100万尾となっている。

宮城県の稚魚放流数は、1990年代に7千万尾台に達して以降、6千万尾前後の水準を維持していたが、東日本大震災（以下；震災）の発生年度に放流された2010年級群は4千万尾まで減少した。その後も孵化場施設の復旧が十分でないことから、5千万尾前後の放流となっている。

放流された稚魚は、河川から降海したのち、オホーツク海を経由してから、ベーリング海やアラスカ湾といった北太平洋海域を回遊し、2~6年で親魚として母川へと回帰する^{7,8}。北太平洋海域の水温上昇といった環境変動に伴い、産卵回帰する親魚の年齢や体サイズには変化が認められ^{9,10}、海洋環境と来遊数に関する研究も進んでいる^{6,11,12}。

サケには、秋季に河川に遡上する前期群と、晩秋から冬季に遡上する後期群が存在することが知られている¹³。宮城県では、10月下旬前後の遡上群が前期群、12月上旬前後の遡上群が後期群に該当している。

ここでは、近年の来遊数減少に影響した要因を明らかにして、来遊数の回復に役立てるため、宮城県のサケ来遊と稚魚放流、回帰率の動向に加え、各河川における時期別捕獲動向を取り纏め、有意義な知見を得たので報告する。

材料と方法

サケは、鱗相と呼ばれる鱗上の年輪の数によって、年齢査定が可能である¹⁴。県内の増殖河川（図1）に遡上し、各増殖団体によって2001年の9月から2017年の12月に捕獲されたサケ親魚のうち、約2割の個体から、鱗の複数枚を採取し、鱗相により年齢を査定した。これらの結果から、各河川の年齢構成比率（%）を求め、各河川の親魚捕獲数に乗じることにより、河川捕獲された親魚数を年齢別に算出した。

次に、各河川の年齢構成比率（%）から、沿岸で漁獲された親魚数を年齢別に算出し、更に来遊数を、河川捕獲親魚数と沿岸漁獲親魚数の合計値として求めた。

来遊数と稚魚放流数は、捕獲採卵時期から翌年春季の放流時期までを同一年級群とし、捕獲採卵年によって年級群を表記した。

図1に * 印で示した河川では、2008年~2017年の旬別捕獲

*1 水産技術総合センター, *2 水産技術総合センター内水面水産試験場

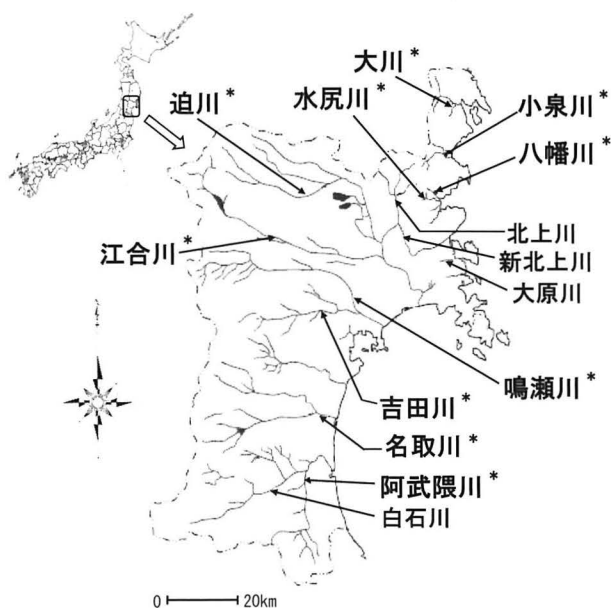


図1 宮城県のサケ増殖河川

図中の * 印は図5～8における調査河川を示す

数の推移 (9～12月) を示した。これらの河川のうち、八幡川と水尻川、鳴瀬川と吉田川は、それぞれ同じ増殖団体が人工孵化放流事業を管理運営しているため、合算して集計した。

なお、各年齢魚算出の元資料とした沿岸漁獲親魚数、河川捕獲親魚数、稚魚放流数は、宮城県農林水産部水産業基盤整備課の取纏め資料に拠る。

結果

宮城県におけるサケの来遊数の経年変化を、図2に示した。2001～2007年度の来遊数は、概ね増加傾向にあり、2008年度と2009年度には300万尾台に達した。しかしながら、2010年度は185万尾で、2009年度の57%まで減少し、その後の2011年度と2012年度も更に減少した。2013年度の来遊数は240万尾で、2012年度の1.7倍に増加し、その後は2017年度まで次第に減少した。このうち、2016年度の来遊数は100万尾であり、2015年度の62%まで減少した。2017年度は、2016年度より更に減少して95万尾となり、2001年度から2017年度までの間で最少の来遊数となった。

図3には、来遊数と稚魚放流数の推移を、年級群別に示した。来遊数は、2001年級群から次第に増加し、2004年級群では401万尾に達した。その後の2005年級群は296万尾に減少し、2006年級群は、更に111万尾まで減少して2005年級群の38%になった。2007年級群は、2006年級群の1.7倍に増加して192万尾で

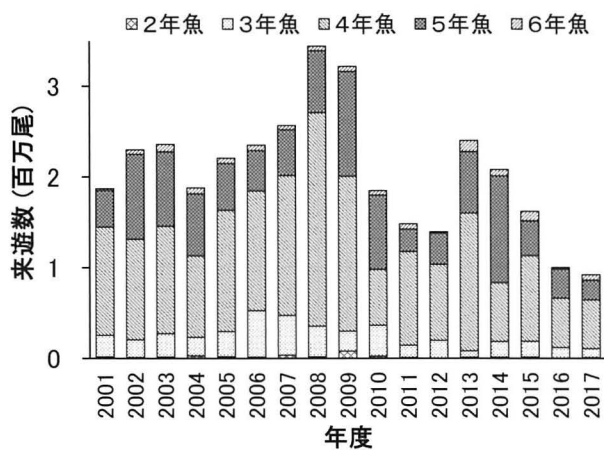


図2 宮城県における各年齢魚の来遊数の年度別推移

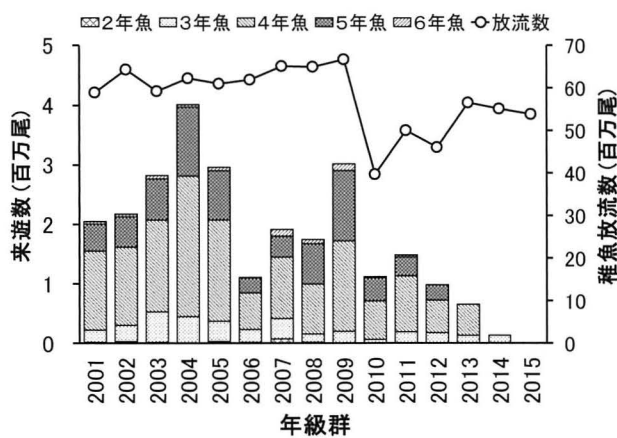


図3 宮城県における来遊数と稚魚放流数の年級群別推移

あり、2008年級群は175万尾に減少した。2009年級群は301万尾となり、2008年級群の1.7倍に増加した。なお、2008年級群と2009年級群では、5年魚の割合が4割であり、他の年級群 (2～3割) と比較して5年魚の割合が高くなった。

2010年級群は、震災による稚魚放流数減少の影響を受け、来遊数が112万尾まで減少して、2009年級群の37%になった。2011年級群の来遊数は、稚魚放流数の増加に伴い、149万尾に増加した。

2012年級群は、2016年度に4年魚が来遊している。2012年級群は、回帰が終了した2～5年魚の累積来遊数が99万尾であり、2011年級群 (2～5年魚の累積来遊数) に比べて減少した。2012年級群は、2001年級群から2012年級群までの間で、2～5年魚の累積来遊数が最も少なく、また5年魚の来遊数は、2006年級群 (25万尾) に次いで少ない26万尾であった。

2013年級群は、回帰が終了した2～4年魚の累積来遊数が66万尾であり、2001年級群から2013年級群までの間で最も少なく、

また4年魚の来遊数も53万尾と最少であった。

稚魚放流数は、2001年級群が5千9百万尾、2002年級群が6千4百万尾、2003年級群が5千9百万尾であったが、2004年級群から2009年級群にかけては6千万尾台を維持していた。震災の影響を受けた2010年級群の放流数は4千万尾であり、2009年級群の60%まで減少した。2011年級群以降、稚魚放流数は増加したものの、5千万尾前後に留まった。

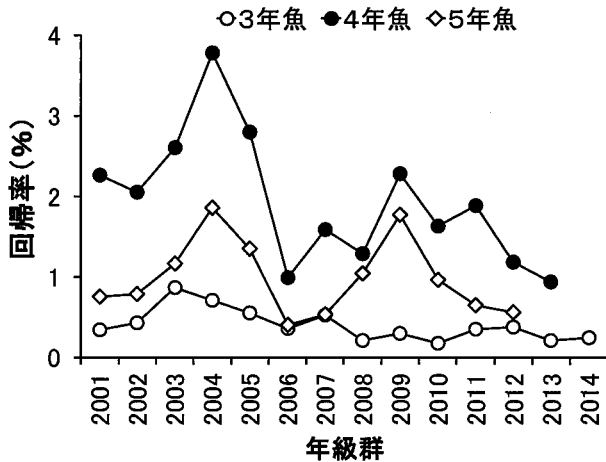


図4 宮城県における各年齢魚の回帰率の年級群別推移

図4には、各年齢魚の回帰率の推移を、年級群別に示した。3年魚回帰率は、2001年級群が0.3%であったが、その後上昇し、2003年級群は0.9%になった。これ以降は低下し、2005~2007年級群は0.4~0.5%で推移し、2008~2014年級群は、0.2~0.4%で推移した。

4年魚回帰率は、2001年級群が2.3%、2002年級群が2.1%であった。このうち回帰率は上昇し、2004年級群が3.8%になったものの、それ以降に低下した。2006年級群の回帰率は1.0%であり、2005年級群に対して4割となった。2007年級群は1.6%、2008年級群は1.3%であり、2009年級群では2.3%へと上昇した。2010年級群については、震災の影響を受け稚魚放流数が前年級群より大きく減少したが、2010年級群の回帰率は1.6%、翌2011年級群の回帰率は1.9%で推移した。以降の回帰率は低下傾向にあり、2012年級群は1.2%、2013年級群の回帰率は、0.9%になった。

5年魚回帰率は、2001年級群、2002年級群共に0.8%であった。このうち回帰率は上昇し、2004年級群で1.9%になったものの、それ以降に低下した。2006年級群の回帰率は0.4%であり、2005年級群に対して3割となった。2007年級群以降、回帰率は上昇に転じ、2009年級群は1.8%になった。以降の回帰率は低下して、2010年級群が1.0%、2011年級群が0.6%になった。2017年度に来遊した2012年級群の回帰率は0.6%で

あった。

図5には、大川と小泉川における河川捕獲数を、旬別に示した。大川では2008年に、10月下旬の前期群から12月上旬の後期群にかけて、各旬で多くの捕獲があった。2009年は10月下旬から11月上旬の前期群と、11月下旬の後期群の捕獲が多かった。2010年以降は前期群を主に捕獲する傾向にあった。年毎の捕獲数は、2008年の77千尾が調査期間中最多であったが、以降は段階的に減少して2012年には15千尾となった。その後は2014年にかけて23千尾まで増加したものの、2015年から減少し2017年には13千尾となった。小泉川では、後期群を主に捕獲する傾向にあった。年毎の捕獲数は2009年の81千尾が最多であり、2011~2012年には14~16千尾まで減少した。2013~2014年は28~31千尾に増加したものの、2015~2017年は13~14千尾まで減少した。

図6には、八幡川・水尻川と迫川における河川捕獲数を、旬別に示した。八幡川・水尻川では、後期群を主に捕獲する傾向にあった。年毎の捕獲数は2009年の26千尾が最多であり、2012年には9千尾まで減少した。それ以降も減少し、2016~2017年は、共に1千尾となった。迫川では、前期群を主に捕獲する傾向にあった。年毎の捕獲数は2011年の18千尾が最多であり、2014年にかけて11千尾まで減少した。2015年は16千尾に増加したものの、2016年から減少し2017年には10千尾となった。

図7には、江合川と鳴瀬川・吉田川における河川捕獲数を、旬別に示した。江合川では2008年に、捕獲のピークが12月中旬の後期群にあった。2009年は11月上旬の前期群と12月上旬の後期群で捕獲が多く、2010年には10月下旬から11月下旬に加えて12月中旬の捕獲が多かった。2011年以降は前期群を主に捕獲する傾向にあった。年毎の捕獲数は2009年の30千尾が最多であった。以降は減少傾向にあり2012年にかけて12千尾まで減少した。2013~2014年は19~21千尾に増加したものの、2015年には9千尾まで減少した。その後の2016~2017年は、共に16千尾となった。鳴瀬川・吉田川では、前期群を主に捕獲する傾向にあった。年毎の捕獲数は、2008年が8千尾であり、2009年には4千尾に減少した。以降は2011年まで次第に増加し、2011~2014年には11~12千尾の水準で推移した。その後の2015~2017年は、7~8千尾まで減少した。

図8には、名取川と阿武隈川における河川捕獲数を、旬別に示した。名取川では、前期群を主に捕獲する傾向にあった。年毎の捕獲数は2011年の8千尾が最多であり、2012年には4千尾まで減少した。その後の2013~2015年は3~4千尾で推移し、2016年には7千尾台に増加したが、2017年は5千尾まで減少した。阿武隈川では、前期群を主に捕獲する傾向にあった。年毎の捕獲数は2008~2009年に12~13千尾で推移したが、

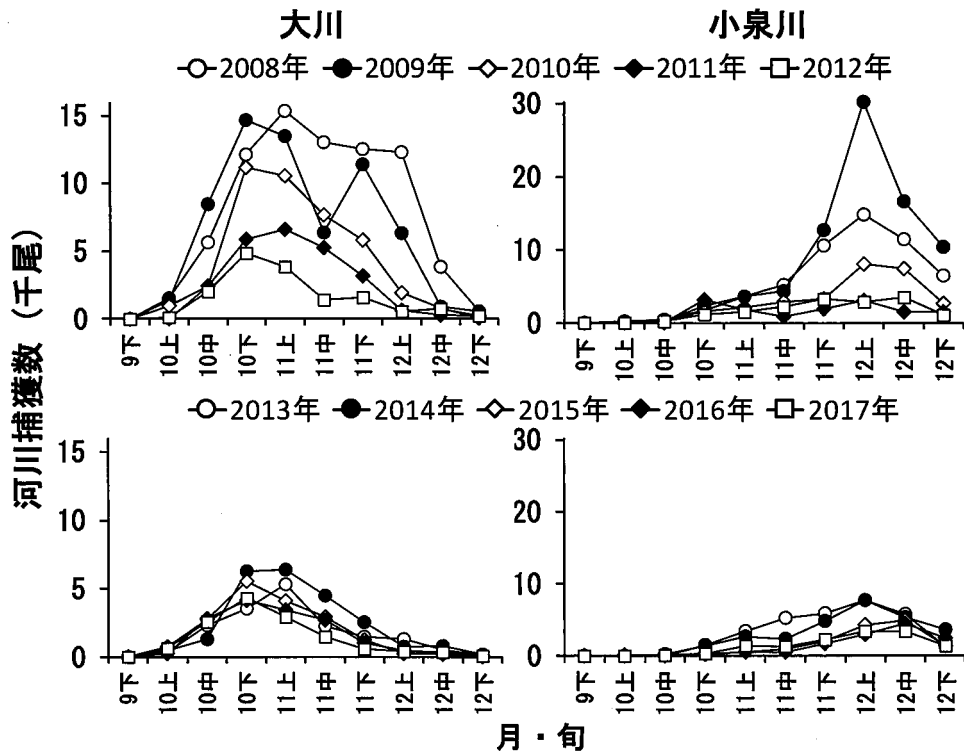


図5 大川と小泉川における捕獲数の旬別推移

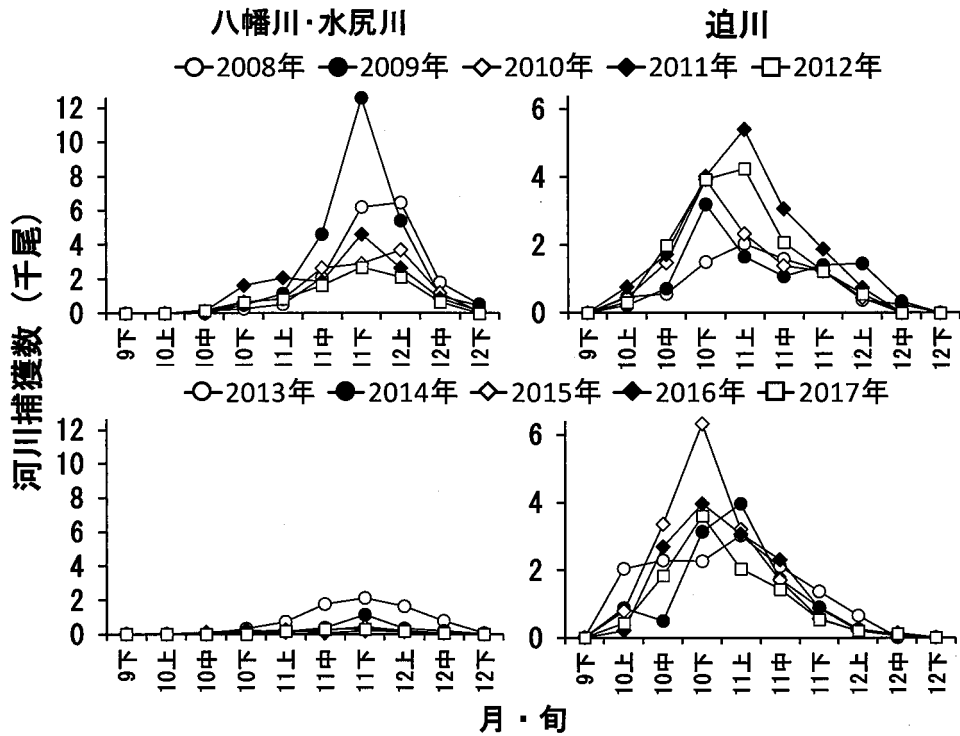


図6 八幡川・水尻川と迫川における捕獲数の旬別推移

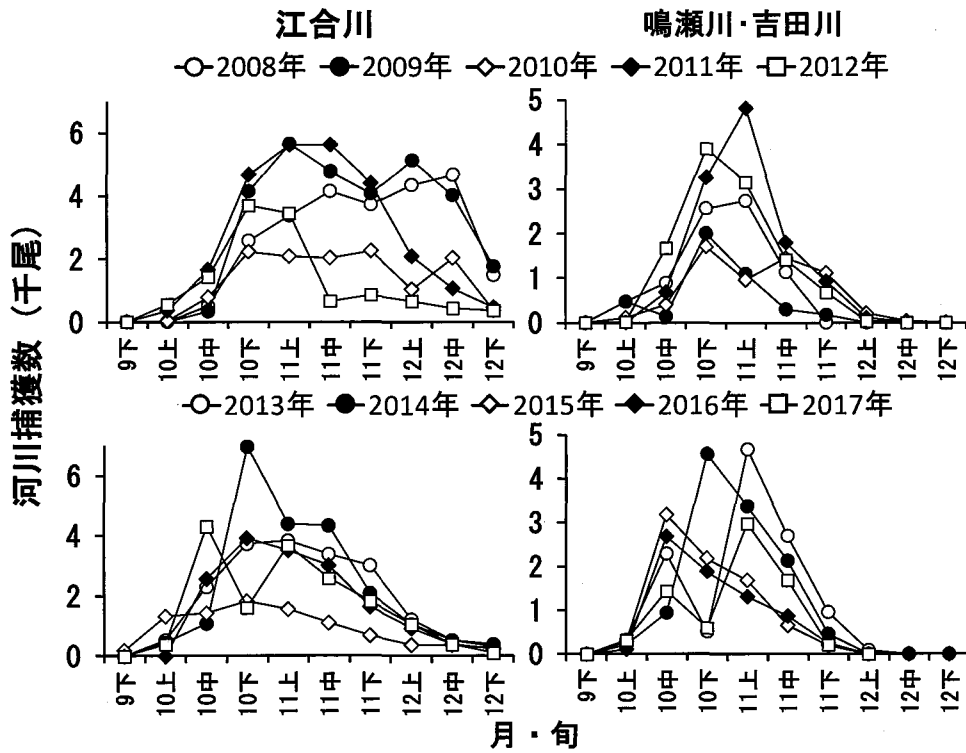


図7 江合川と鳴瀬川・吉田川における捕獲数の旬別推移

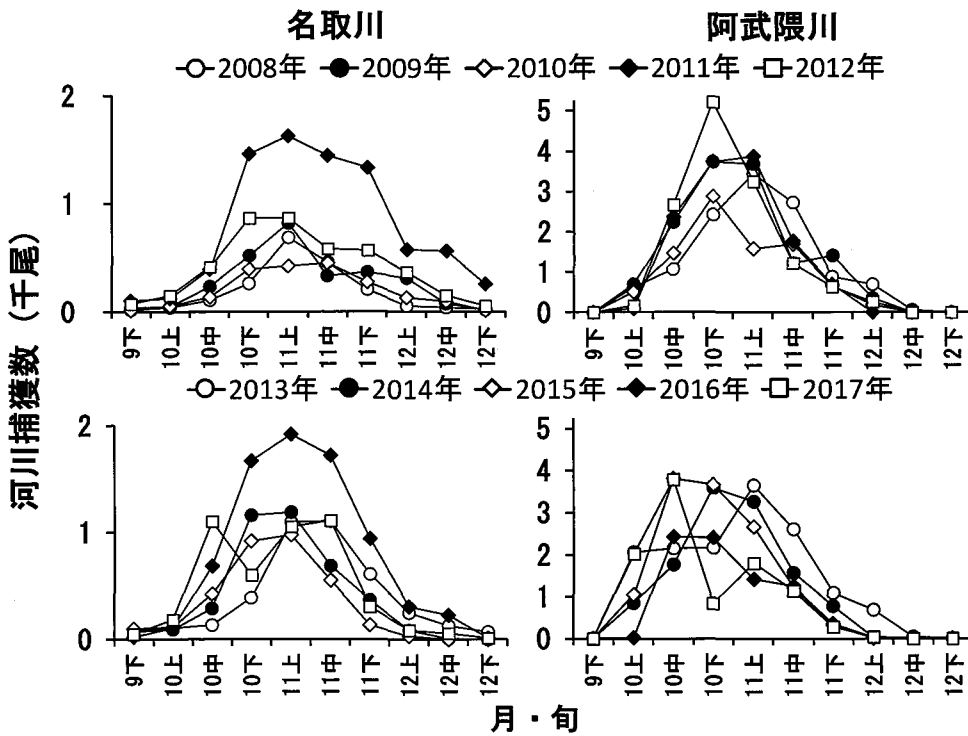


図8 名取川と阿武隈川における捕獲数の旬別推移

2010年は9千尾まで減少した。以降は増加し2011～2015年には、12～14千尾で推移したものの、2016年は8千尾まで減少した。2017年には10千尾となった。

各河川は、10月下旬前後の前期群を主に捕獲する河川(大川, 迫川, 江合川, 鳴瀬川・吉田川, 名取川, 阿武隈川)と、12月上旬前後の後期群を主に捕獲する河川(小泉川, 八幡川・水尻川)に分かれた。また、期間中(2008～2017年)の合計捕獲数が多かった大川, 小泉川, 江合川の3河川では、2008年又は2009年の捕獲数が最多であったが、その後は2012年にかけて減少し、2013～2014年には増加した。2015～2017年には、大川, 小泉川, 江合川に加え、鳴瀬川・吉田川でも2013～2014年の捕獲数に比べて減少した。2009年の捕獲数が多かった八幡・水尻川では、その後の2011～2012年にかけて捕獲数が減少し、2013～2014年も更に減少を続け、それ以降も減少した。

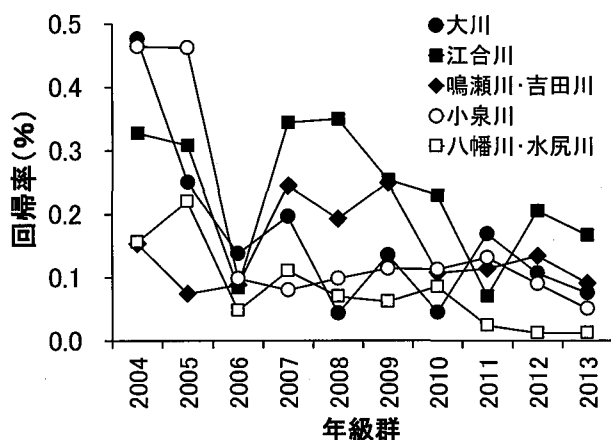


図9 宮城県の各河川における4年魚回帰率の年級群別推移

図9には、前期群を主に捕獲する大川, 江合川, 鳴瀬川・吉田川と、後期群を主に捕獲する小泉川, 八幡川・水尻川における、4年魚回帰率の推移を年級群別に示した。なお、各河川回帰率は、沿岸漁獲魚が除外されるため、来遊魚全ての回帰率より値が低くなる。前期群を主に捕獲する河川のうち、大川では、2004年級群が0.5%であり、2005年級群は0.3%になったものの、2006年級群は0.1%まで低下し、2007年級群は0.2%に上昇した。江合川では、2004年級群と2005年級群が0.3%であったものの、2006年級群は0.1%まで低下し、2007年級群は0.3%に上昇した。鳴瀬川・吉田川では、2004年級群が0.2%であったものの、2005～2006年級群は0.1%まで低下し、2007年級群は0.2%へと上昇した。

一方、後期群を主に捕獲する河川のうち、小泉川では、2004年級群と2005年級群が0.5%であったものの、2006年級群は0.1%まで低下し、その後も0.1%程度で推移した。八幡川・水

尻川では、2004年級群と2005年級群が0.2%であったものの、2006～2010年級群は0.1%に低下し、2011～2013年級群は更に低下して0.01～0.02%となった。後期群を主に捕獲する河川では、2006年級群の回帰率が大きく低下し、それ以降も低下後の水準を維持するか若しくは更に低下した。

考察

宮城県における近年5カ年(2013～2017年度)のサケ来遊数は、段階的に減少し、2016年度と2017年度には、来遊の主群である4年魚の回帰率が低下したことにより、来遊数が減少した。2016年度と2017年度は全国的にも、近年稀にみる不漁年度とされるが、このことは2012年級群と2013年級群の来遊数が大幅に減少した結果とみられている^{15,16}。2012年級群と2013年級群の来遊数減少は、日本の太平洋沿岸の急激な水温変化に起因するとの指摘がある¹⁵⁻¹⁷。すなわち稚魚降海当時の水温は低かったが、その後、大幅に高くなったため、生息や回遊に適した水温環境が形成された期間が短く、最終的に資源豊度の低下に繋がったとの見解が示されている¹⁵⁻¹⁷。太平洋側の東北沖合海域では、5～6月に、幼稚魚が沿岸で滞留したのち、離岸し北上回遊することが知られている^{12,18}。2012年級群と2013年級群の幼稚魚の沿岸滞留・北上回遊期(5～6月)における本県沿岸水温についても、親潮系冷水の波及から北上暖水の波及への移行に伴い、約1ヶ月で7～10℃の昇温といった大きな変化が確認され¹⁹、当海域でも水温の変化が、幼稚魚の成育に影響を与えたと考えられる。一方、オホーツク海を回遊するサケ幼魚の採集結果から、2012年級群と2013年級群の減少傾向が明らかであり²⁰、本県の回帰親魚にもその影響が及んでいるとみられる。

サケの年級群豊度は、海洋初期生活期の環境変動に関係することが分かっている^{14,20}。北海道から本州にかけての太平洋沿岸域を中心に、2010年度以降の来遊数は低い水準にあるが、これは2006年級群以降に幼稚魚生残数が減少した影響とみられている^{6,17}。2006年級群以降の生残数減少の原因については、沿岸回遊期の顕著な水温変化若しくは高水温化に依るとされる^{12,16,21}。岩手県海域の調査結果では、3～7月にかけての沿岸水温の上昇傾向が2006年以降、特に顕著となり、幼稚魚の餌となる動物プランクトン量が、海洋環境の高水温化の影響を受けて減少傾向となったため、幼稚魚が十分成長できずに減耗したと報告されている^{12,21}。本県では仙台湾トレンド分析の結果から、水温の上昇傾向が認められている²²。本県海域でも、幼稚魚の減耗に対し、水温の要因が同様に影響したと考えられる。なお河川降海期の稚魚でも、降海期間中の温度変化が小さい方が、長く適温下で成育でき、より多数の稚魚が生残可能なこと

が判明している²⁶⁾。

日本系のサケは、4年魚の来遊が通常最も多いが¹⁷⁾、宮城県でも同様である。2008～2009年級群には、高齢魚である5年魚の割合が4割と高くなり、Moritaら^{9,10)}が報告した来遊魚の高齢化や小型化が、本県産親魚にも影響した可能性が考えられた。来遊魚の高齢化や小型化は、北太平洋海域の温暖化に伴う水温上昇や塩分低下の影響によって、索餌期の成長が悪化したことで生じるとされている^{9,10)}。

2014年度と2015年度の来遊数は、震災に伴う津波のため、2010年度と2011年度の稚魚放流数が減少した影響を受けて、以前より減少したが、一方で2010年級群と2011年級群の4年魚回帰率は低くなかったため、その影響は限定的とも考えられる。しかしながら、河川ごとの稚魚放流数と捕獲数の関係について、震災の影響により2010年級群の放流数が2009年級群より大きく減少した小泉川、八幡川と水尻川、阿武隈川では、2010年級群の捕獲数が2009年級群より減少し、翌2011年級群の捕獲数は、2010年級群より増加した²⁴⁾。一方、ふ化場施設が津波の影響を受けなかった大川、迫川、江合川では放流数が大きく減少することはなかったが、これらの河川でも2010年級群の捕獲数は、2009年級群より減少した²⁴⁾。震災後は、宮城県の河川及び海岸において、津波の影響による地形の大きな変化が報告されている^{25,26)}。2010年級群の河川捕獲数の減少については、震災後に地形が変化した河川及び海岸環境の中で、放流稚魚が降海し離岸回遊する際の成育を妨げられたことによる資源の減少が原因として考えられる。これらのことから、震災の影響が被災海域のサケ資源に広く及んだ可能性が示唆される。

宮城県を含む本州太平洋地域の研究結果では、1996年頃から捕獲採卵の時期が徐々に早まり、2006年頃から稚魚放流時期についても早期化している²⁾。宮城県でも2010～2011年には、大川・江合川等多くの河川で、前期群を主に捕獲する傾向が認められている。捕獲採卵時期の変化は、産業的ニーズに合わせてコントロールされたためとみられるが、その影響は検討されてこなかった²⁾。なお、サケは自身の採卵・受精時期と、ほぼ同じ時期に来遊し産卵する性質を持つことで知られている²⁷⁾。

宮城県の来遊数は、2006～2008年級群が4年魚で回帰した2010～2012年度に段階的に減少した。この期間の来遊数減少は、後期群の低調な来遊に起因するとされる²⁸⁾。後期群を主に捕獲する河川では、2006年級群の4年魚回帰率が、2005年級群の2割まで低下し、その後の回帰率も低水準に留まった。一方、前期群を主に捕獲する河川では、2006年級群の4年魚回帰率が、2004～2005年級群の3～6割まで低下したものの、2007年級群の回帰率は、2006年級群の2～4倍と2005年級群以前の水準を回復し、その後も2005年級群以前並みの値を記録している。2006年級群以降2013年級群に至る低調な来遊には、後期群の

低調な来遊が影響を与えたと考えられる。前期群は高水温耐性を有するとの報告がある²⁸⁾。高水温耐性をもつ前期群は、水温上昇期である北上回遊時の成育が有利となることで、前期群と後期群の生残に差が生じた可能性がある。

近年大きく変動する北上回遊時の海洋環境変動を考慮した場合には、前期群だけでなく後期群の維持と造成も必要となる。北上回遊時の海洋環境変動を見据え、稚魚放流後の減耗リスクを低減するためには、健康な稚魚を育成した上、期間を空けた日程で放流することが重要とされる²⁹⁾。水産庁は、海洋環境変動への対応策として、親魚の回帰率向上を目的とする「リスク分散型の稚魚放流」を積極的に推奨している³⁰⁾。この考え方は以前にも提起されており、稚魚放流後に大きく変動する沿岸環境要因による減耗のリスクを回避するために、放流時期の分散と広幅化を図る放流手法である³⁰⁾。今後は宮城県でも、前期群を中心に捕獲採卵する現状を見直し、前期群と後期群を含めた広い期間の遡上親魚から採卵し育成した稚魚を放流することにより、来遊数の回復に影響を与え得ると考える。

要 約

宮城県における近年5カ年（2013～2017年度）のサケ来遊数は、段階的に減少した。2016年度の来遊数は、2015年度の62%まで減少し、2017年度は2016年度より更に減少した。来遊の主群である4年魚の回帰率が低下したことにより、2016年度と2017年度の来遊数が減少した。宮城県の増殖河川は、10月下旬前後の前期群を主に捕獲する河川と、12月上旬前後の後期群を主に捕獲する河川に分かれた。後期群を主に捕獲する河川の回帰率は、2006年級群に低下して以降、低水準に留まった。2006年級群以降の低調な来遊は、後期群の低調な来遊が影響を与えたと考えられた。稚魚放流後に大きく変動する沿岸環境要因による減耗リスクを低減するため、前期群を中心に捕獲採卵する現状を見直し、前期群と後期群を含めた広い期間の遡上親魚から採卵し育成した稚魚を放流することにより、来遊数の回復に影響を与え得ると考える。

謝 辞

本研究で用いた沿岸漁獲親魚数、各河川の捕獲親魚数と稚魚放流数については、宮城県農林水産部水産業基盤整備課並びに宮城県経済商工観光部仙台地方振興事務所・東部地方振興事務所・気仙沼地方振興事務所の各水産漁港部の歴代担当職員の方々による取纏め資料を利用した。また各河川の年齢構成については、宮城県水産技術総合センター養殖生産部・気仙沼水産試験場・内水面水産試験場の歴代担当職員の方々による取纏め

資料を利用した。ここに記して、深く感謝申し上げる。

文献

- 1) 渡邊久爾・本多健太郎・斎藤寿彦 (2018) サケ (シロザケ) 日本系—平成29年度国際漁業資源の現況. 水産研究・教育機構, 1-7.
- 2) 高橋昌也 (2015) 日本系サケ地域個体群におけるふ化放流の現状. 水研センター研報, 39, 49-84.
- 3) 高橋昌也 (2018) 北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖. SALMON情報, 12, 41-42.
- 4) Seo H., H. Kudo and M. Kaeriyama (2011) Long-term climate-related changes in somatic growth and population dynamics of Hokkaido chum salmon. *Environ. Biol. Fish.*, 90, 131-142.
- 5) Qin Y. and M. Kaeriyama (2012) Recent production trends of chum salmon *Oncorhynchus keta* under conditions of warming climate. *NPACFC Tech. Rep.*, 8, 113-116.
- 6) 斎藤寿彦・東屋知範・佐藤俊平・岡本康孝・佐々木系・高橋史久・渡邊久爾・森田健太郎・安達宏康・高橋昌也・飯田真也・井関智明・八木佑太・羽賀正人・阿部邦夫・栗林 誠・坂本 準 (2014) さけます資源の現状：想定される減少要因と今後の対応. SALMON情報, 8, 32-37.
- 7) 佐野誠三 (1959) 北日本サケ属の生態と蕃殖について. 北海道さけ・ますふ化場研報, 14, 21-90.
- 8) 浦和茂彦 (2015) 日本系サケの海洋における分布と回遊. 水研センター研報, 39, 9-19.
- 9) Morita, S. H., K. Morita and H. Sakano (2001) Growth of chum salmon (*Oncorhynchus keta*) correlated with sea-surface salinity in the North Pacific. *ICES J. Mar. Sci.*, 58, 1335-1339.
- 10) Morita, K. and M. Fukuwaka (2007) Why age and size at maturity have changed in Pacific salmon. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 335, 289-294.
- 11) Saito, T. (2002) Fluctuations in return rates for hatchery-reared chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in relation to coastal ocean environment in Japan. *NPAC Doc.* 614, 1-20..
- 12) 和川 拓・玉手 剛・黒田 寛・伊藤進一・笥 茂穂・山野目健・児玉琢哉 (2017) 三陸沿岸域の海洋環境とサケ回帰率の関係. SALMON情報, 11, 3-6.
- 13) 森田健太郎・大熊一正 (2015) サケ：ふ化事業の陰で生き長らえてきた野生魚の存在とその保全. 魚類学雑誌, 62(2), 189-195.
- 14) 伊藤外夫・石田行正 (1998) 鱗相によるさけ・ます類の種の同定と年齢査定. 遠洋水研研報, 35, 131-154.
- 15) 福若雅章・鈴木健吾 (2018) さけます関係研究開発等推進会議研究部会. SALMON情報, 12, 20-21.
- 16) 宮腰靖之 (2018) 北海道におけるサケの資源動態. 日本水産学会誌, 84(5), 924.
- 17) 斎藤寿彦・福若雅章 (2018) 北太平洋におけるサケ属魚類の資源動態. 日本水産学会誌, 84(5), 923.
- 18) 入江隆彦 (1985) 北日本の太平洋海域に出現する離岸期サケ稚魚の起源 と回遊経路. 日本水産学会誌, 51(7), 1103-1107.
- 19) 宮城県水産技術総合センター (2017) 漁海況調査／資源調査. 水産技術総合センター環境資源チーム, <http://www.pref.miyagi.jp/site/shigen/gyokaikyo.html>.
- 20) 佐藤俊平・佐藤智希・本多健太郎・鈴木健吾・浦和茂彦 (2018) 沖合における日本系サケの資源動態と生息環境. 日本水産学会誌, 84(5), 930.
- 21) 川島拓也・清水勇一・太田克彦・山根広大 (2018) 三陸沿岸におけるサケ幼稚魚の分布, 生息環境と親魚回帰. 日本水産学会誌, 84(5), 928.
- 22) 佐伯 光広・稲田 真一・小野寺 毅・小野寺 恵一 (1998) 長期的な気象・海況変化に伴う仙台湾におけるイカナゴの資源状況. 宮城水産研報, 17, 17-27.
- 23) 森田健太郎 (2017) 季節の遅れや進み具合とサケの回帰率の関係. SALMON 情報, 11, 6-7.
- 24) 白石一成 (2017) 宮城県における東日本大震災によるサケの放流数と回帰数の変動. 水産増殖, 65(2), 161-163.
- 25) 三戸部佑太・H. C. Vo・M. B. Adityawan・田中 仁 (2013) 東日本大震災津波後の仙台湾岸の海浜変形. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 69(2), 611-615.

- 26) 田中 仁・M. B. Adityawan・盧 敏・H. C. Vo (2013) 東日本大震災津波後の河口砂州河道内侵入現象. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 69(2), 616-620.
- 27) 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, 16-18.
- 28) 高橋清孝 (2014) 前期・後期サケ来遊資源と種苗放流の諸問題. 北日本漁業, 42, 24-28.
- 29) 関 二郎 (2013) さけます類の人工孵化放流に関する技術小史 (放流編). 水産技術, 6(1), 69-82.
- 30) 水産庁 (2017) サケふ化放流事業における回帰率回復に向けた考え方. 平成29年度サケ来遊状況等に関する意見交換会資料, 1-10.
- 31) 石黒武彦 (2010) さけます関係研究開発等推進特別部会. SALMON情報, 4, 17-19.