

衛星リモートセンシングにより観測したオホーツク海 東部地区の春季の沿岸水温とサケの回帰率との関係

宮腰 靖之^{*1}・永田 光博^{*1}・齊藤 誠一^{*2}

Sea Surface Temperature Measured by Satellite Remote Sensing and its Effect on the Return Rate of Chum Salmon in the Eastern Region along the Okhotsk Sea

Yasuyuki Miyakoshi^{*1}, Mitsuhiro Nagata^{*1} and Sei-ichi Saitoh^{*2}

Abstract Chum salmon *Oncorhynchus keta* returning to Hokkaido is currently reproduced by intensive hatchery programs. Early marine life is thought to be a critical period when the mortality of the juvenile chum salmon is high, and the coastal environment, as well as the fish quality, is a factor affecting the success of the hatchery programs. This study examined the effects of a number of juveniles released, the mean weight of the juveniles at release, and the coastal sea surface temperature (SST) on return rate of chum salmon in the eastern region of the Okhotsk Sea coast, off eastern Hokkaido, from 1991 to 2001. Coastal SST was measured using satellite remote sensing (NOAA/AVHRR). The timing at which SST first reached 8 °C and the mean SST from 25 May to 1 June had significant effects on the return rates of chum salmon; i.e., the higher the coastal SST in late May, the higher the return rate. This indicates that the coastal SST during the short period when hatchery-raised chum salmon migrate to the ocean would be a critical factor determining the survival of chum salmon released in the eastern region of the Okhotsk Sea coast. The effect of fish size was insignificant within the range from 0.92 to 1.17 g in this study, although the mean size of juvenile chum salmon released is gradually increasing because rearing facilities are bringing improvements.

Key words : サケ, 回帰率, 衛星リモートセンシング, 沿岸水温, オホーツク海

北海道におけるサケ *Oncorhynchus keta* の来遊数は1970年代以降急速に増加し、1990年代以降も高い水準で推移している (Nagata and Kaeriyama, 2004)。北海道に来遊するサケのほとんどは放流魚であると考えられており (Kaeriyama, 1999), 本道のサケ漁業を支えるため、本種の増殖事業を計画的かつ効果的に実施することが極めて重要である。近年の資源水準は

高く推移しているが、現在もふ化および飼育施設を整備することにより、放流サイズなど種苗の質の向上が図られており、増殖技術の向上や効率化に向けた研究の必要性は依然として高い。

各地のふ化場から放流されたサケ幼稚魚は、沿岸域で数週間程度を過ごした後、沖合へと回遊し (入江, 1990), 北太平洋で2~6年の海洋生活を経て本道へ回

^{*1} 北海道立水産孵化場 (Hokkaido Fish Hatchery, Kitakashiwagi 3-373, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan)

^{*2} 北海道大学大学院水産科学研究院 (Graduate School of Fisheries Science, Hokkaido University, Minato-cho 3-1-1, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan)

帰する。増殖事業における人工的な管理環境下では、卵から稚魚期までの生残率は自然環境下 (Quinn, 2005) と比べて著しく高い (1997~2000年度: 83.6~85.5%, 北海道さけ・ます増殖事業協会, 2006)。これに対して、降海した後の沿岸域でのサケ幼稚魚の死亡率は高いことが知られている (Healey, 1982; Bax, 1983; Pearcy, 1992; Fukuwaka and Suzuki, 2000)。そのため、北海道においても放流された幼稚魚の沿岸滞泳期の生残率の良し悪しが数年後のサケの来遊数を大きく左右するものと考えられる。これまでに本道のいくつかの地域でサケ幼稚魚の沿岸での生態と沿岸環境について詳細な調査が行われ (入江, 1990; 北海道立水産孵化場, 2000; Mayama and Ishida, 2003; 関, 2005など), 沿岸水温がサケの沿岸域での分布を左右する重要な要因であることが明らかにされている。さらに, Saito (2002) は北日本の広い海域の水温とサケの回帰率を解析し, 沿岸水温がサケの回帰率を左右する要因であるとともに, 回帰率に影響する条件は海域によって異なることを示している。

これらのことから, 降海時の沿岸環境をモニタリングしながら, 毎年放流されるサケの回帰率を評価することが, 本種の放流技術のさらなる向上のためには重要と言える。近年では, 衛星リモートセンシングによる海洋観測技術の発達と普及が進み, 海洋研究および水産研究への応用が可能となった (Laurs and Polovina, 2000)。衛星リモートセンシングでは広い海域の表面水温を同時に観測することができ, さらに,

長期間にわたって一定の周期で観測することが可能である。最近では衛星リモートセンシングを用いたサケ科魚類の生態や増殖に関する研究事例もみられる (Cole, 2000; Kitahashi *et al.*, 2000; Miyakoshi *et al.*, 2007b)。本研究では, 北海道オホーツク海側東部地区を調査海域として, 衛星リモートセンシングを用いてサケ稚魚の放流時期前後の沿岸水温を連続的に観測し, 沿岸水温, 稚魚の放流サイズなどの要因と同地区におけるサケの回帰率との関係を調べた。

材料および方法

調査海域

北海道では現在, サケの増殖事業を進めるにあたり, 全道を5海区 (オホーツク, 根室, えりも以東太平洋, えりも以西太平洋, 日本海) に分け, さらに各海区を2地区あるいは3地区, 計14地区に分けて捕獲採卵およびふ化放流計画を策定し, 事業を運営している (北海道さけ・ます増殖事業協会, 2006)。本研究ではその中からオホーツク東部地区 (知床半島突端~網走市と北見市 (常呂町) の境界まで; Fig. 1) を調査地域として選定し, 同地区で1991~2001年に放流された群を研究対象とした。オホーツク東部地区ではこの間, 12箇所のふ化場 (2次飼育施設含む) で稚魚が生産され, 毎年9,645万~1億1,143万尾 (平均1億374万尾) の稚魚が放流されている (Fig. 2)。稚魚は9河川および2~6箇所の漁港から放流された。漁港からの放流は,

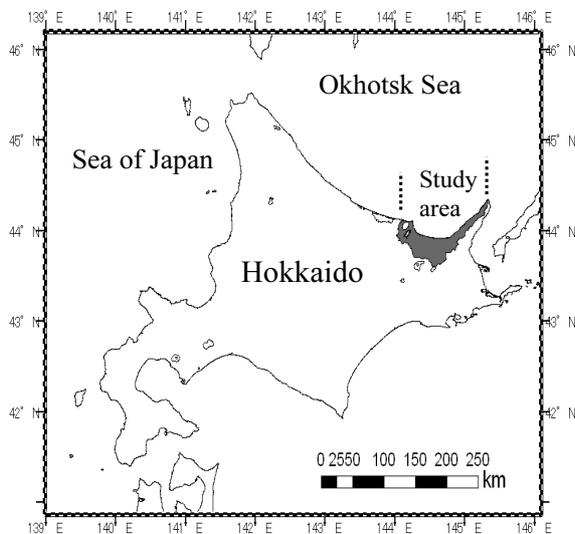


Fig. 1 Study area in the eastern region of the Okhotsk Sea coast, Hokkaido.

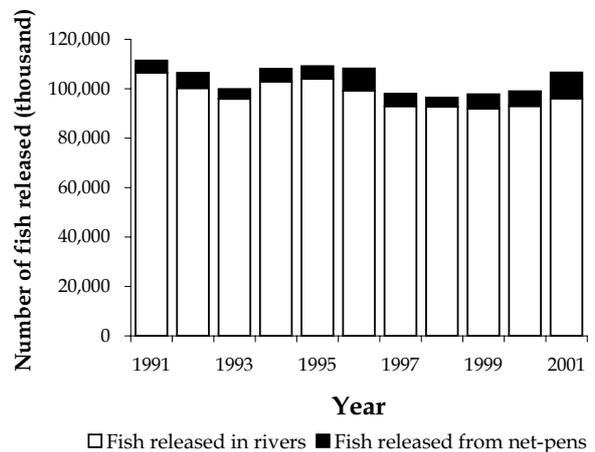


Fig. 2 Number of juvenile chum salmon released (in rivers: open bars; in coastal waters after rearing in net-pens: solid bars) in the eastern region of the Okhotsk Sea coast, Hokkaido, from 1991 to 2001.

港内に設置した生簀内で飼育した後に放流するものである（以下、海中飼育放流と記す）。放流時期は3月から6月にかけてであったが、毎年5月中旬から下旬にかけての放流が全体の多くを占めた（Fig. 3）。放流時の稚魚の平均体重は0.92~1.17 gであった（水産庁北海道さけ・ますふ化場, 1992~1998; 北海道さけ・ます増殖事業協会, 2006, Fig. 4）。ただし、ここでの平均体重は各ふ化場で生産された稚魚のものであり、ふ化場から移出後の海中飼育での増重分は含まない。

オホーツク東部におけるサケの回帰率

サケの回帰率を計算する際には斜里川および網走川に遡上した親魚の年齢組成を用いた。1993~1999年に遡上した親魚の年齢組成は水産庁北海道さけ・ますふ化場および水産庁さけ・ます資源管理センター資料

（水産庁北海道さけ・ますふ化場, 1992~1997; 水産庁さけ・ます資源管理センター, 1999; 2000）から引用し、2000~2005年の年齢組成データは北海道立水産孵化場が実施した調査結果を用いた（北海道立水産孵化場, 2002~2007）。年齢組成を河川への遡上尾数（捕獲尾数）に乗じて、年齢別遡上尾数を推定し、さらに、沿岸での漁獲尾数に乗じることによって、オホーツク東部地区におけるサケの年齢別来遊数を推定した。このようにして得られた年級群別来遊尾数を放流尾数で除すことにより回帰率を推定した（Fig. 4）。なお、2000年級群（2001年放流群）については2006年以降も6年魚以上の回帰が見込まれるが、本研究では2005年秋まで、すなわち5年魚までの回帰尾数から回帰率を推定し解析に用いた。

衛星データの入手および解析

沿岸水温の観測には NOAA 衛星搭載の AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer; 改良型高解像度放射計) センサーにより観測されたデータを用いた（Fig. 5）。NASA/JPL (Jet Propulsion Laboratory) の Web サイト上で公開されているデータベース (<http://podaac.jpl.nasa.gov>) から HDF (Hierarchical Data Format) 形式のデータ (AVHRR pathfinder best SST, 空間分解能約9 km, 8日間合成 (日最高水温の8日間平均)) をダウンロードし、NASA が公開するフリーソフトウェア

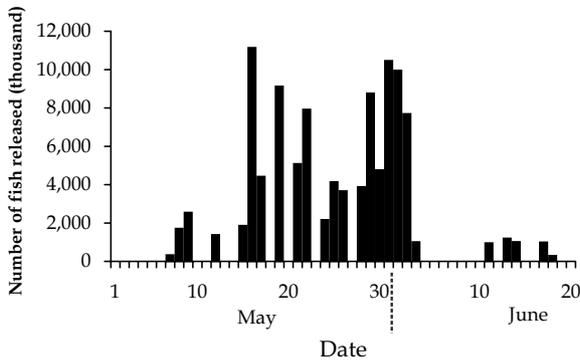


Fig. 3 Daily number of juvenile chum salmon released in the study area in 2001.

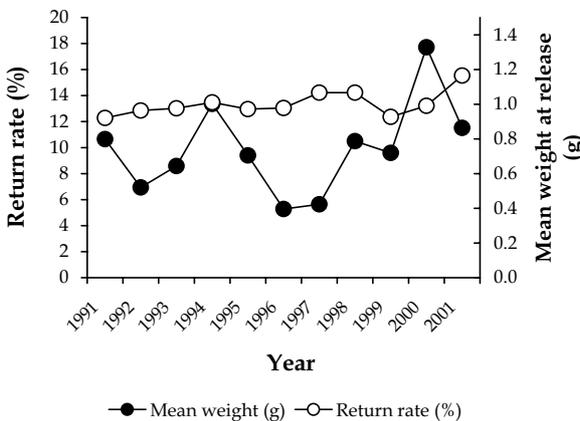


Fig. 4 Mean weights (g) and return rates (%) of juvenile chum salmon released in the eastern region of the Okhotsk coast, Hokkaido, from 1991 to 2001.

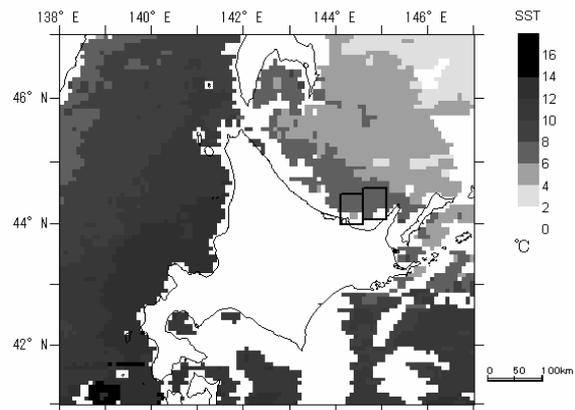


Fig. 5 An example satellite image of the sea surface temperature measured by NOAA/AVHRR, 8-days (25 May-1 June 2000) composite with a spatial resolution of ~9 km. Squares in the eastern Hokkaido indicate the geographic sites where SST values were extracted.

SeaDAS (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/seadas/>)で読み込んだ後、北海道周辺海域のデータをフラットファイルとして出力した。

SeaDAS を用いて出力したフラットファイルを海洋版 GIS ソフト Marine Explorer (株式会社環境シミュレーション研究所, 川越市) を用いて読み込んだ。オホーツク東部沿岸に2つの0.5° 四方の区画を作成し (Fig. 5), 3月から7月にかけて各時期, 各区画における水温を抽出した。ここで設定した0.5° 四方の区画には海岸線から約50 km の範囲が含まれる。なお, 研究に用いた8日間合成の衛星データについては, 1月1~8日を第1番目, 1月9~16日を第2番目として, 順に番号をつけて記すこととする。

沿岸水温と回帰率の関係について

オホーツク東部から放流されたサケの回帰率の変動要因を調べるため, 回帰率を目的変数, 放流あるいは沿岸水温に関する情報を説明変数として単回帰分析を行った。今回の調査海域としたオホーツク東部沿岸では, サケ稚魚は概ね8~13°Cの水温域で多くみられることから (入江, 1990; 永田ら, 2006; Miyakoshi *et al.*, 2007a), 沿岸水温に関する項目として, 水温が8~13°Cで推移した時期と回帰率の関係を主に解析することとした。解析に用いた説明変数は次のとおり。

- 1) 全放流尾数 (尾) (河川放流と海中飼育放流の合計)

- 2) 海中飼育放流尾数 (尾)
- 3) 全放流尾数に対する海中飼育放流尾数の割合 (%)
- 4) 放流時の平均体重 (g)
- 5) 沿岸水温がはじめて8°Cに達した時期
- 6) 沿岸水温がはじめて13°Cを超えた時期
- 7) 沿岸水温が8~13°Cの範囲内で推移した期間の長さ
- 8) 5月9日~5月16日の8日間 (第17番目の期間) の平均水温
- 9) 5月17日~5月24日の8日間 (第18番目の期間) の平均水温
- 10) 5月25日~6月1日の8日間 (第19番目の期間) の平均水温
- 11) 6月2日~6月9日の8日間 (20番目の期間) の平均水温
- 12) 6月10日~6月17日の8日間 (第21番目の期間) の平均水温

なお, 変数の正規性を保つため, 比率に関する変数 (回帰率および変数3) は解析前に逆正弦変換した。

結 果

沿岸水温と回帰率の関係

1991~2001年のオホーツク東部地区において, 沿岸水温がサケにとって好適な範囲 (8~13°C) で推移した期間を Fig. 6に示した。1999年は欠測の期間が長

Year of release	Return rate (%)	8-days period (counted consecutively by defining 1-8 January as the first)									
		17th	18th	19th	20th	21st	22nd	23rd	24th	25th	
		9 - 16 May	17 - 24 May	25 May-1 Jun	2 - 9 Jun	10 - 17 Jun	18 - 25 Jun	26 Jun-3 Jul	4 - 11 Jul	12 - 19 Jul	
1991	10.7			■	■	■					
1992	6.9	■				■	■	■	■		
1993	8.6					■	■	■	■		
1994	13.4				■		■	■	■		
1995	9.4					■	■	■	■		
1996	5.3								■	■	
1997	5.6								■	■	
1998	10.5				■	■	■	■	■		
1999	9.6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
2000	17.7			■		■	■	■			
2001	11.5			■	■	■	■	■			

■ Period of SST within 8-13 °C ■ No Data

Fig. 6 Timing of the optimal SST range (8-13 °C) for the residence of juveniles chum salmon in coastal area in 1991-2001.

いため解析から除外した。沿岸水温が8℃に達する時期は、早い年で5月25日～6月1日（第19番目の期間; 1991; 2000; 2001年）、遅い年では6月10～17日（第21番目の期間; 1993; 1996; 1997年）、一方、13℃を超える時期は、早い年で6月18～25日（第22番目の期間; 1991年）、遅い年では7月20～27日（第26番目の期間; 1997年）であった。8～13℃で推移した長さは、2期間（1995年）～5期間（1997年および2001年）であった。

単回帰分析により、サケ稚魚の回帰率と放流数、放

流サイズ、沿岸水温との関係を検討した結果、回帰率と有意な関係が認められた変数は、沿岸水温がはじめて8℃に到達する時期 ($P < 0.01$)、はじめて13℃を超えた時期 ($P < 0.05$)、5月25日から6月1日の間の平均水温 ($P < 0.05$) の3つであった (Table 1)。すなわち、沿岸水温が8℃に達するのが早いほど、あるいは13℃を超えるのが早いほど回帰率が高くなる傾向がみられた (Fig. 7)。5月中旬から6月中旬にかけて、第17～21番目の5つの期間の水温と回帰率の関係をみると、

Table 1 Summary statistics of simple linear regression analyses for return rate of chum salmon released in eastern region along the Okhotsk Sea

	Range	Regression coefficient	Correlation coefficient: r	P
1) Number of juvenile chum salmon released (million fish)	96.5 - 111.4	0.000	0.084	0.806
2) Number of juveniles released from net-pens in coastal areas (million fish)	4.0 - 10.6	-0.001	-0.070	0.848
3) Proportion of juveniles released from net-pens to total number of juveniles released (%)	3.9 - 9.9	-0.090	-0.047	0.898
4) Mean weight of juvenile chum salmon at release (g)	0.92 - 1.17	0.041	0.081	0.813
5) 8-days period of coastal SST first reaching 8 °C	19th (25 May-1 June) - 21st (10-17 June)	-0.032	-0.771	0.009**
6) 8-days period of coastal SST first exceeding 13 °C	22nd (18-25 June) - 26th (20-27 July)	-0.021	-0.638	0.047*
7) Number of 8-day periods of SST within 8-13 °C	2 - 5	-0.001	-0.030	0.934
8) Mean SST from 9 to 16 May (17th 8-days period) (°C)	0.8 - 6.2	-0.142	-0.072	0.853
9) Mean SST from 17 to 24 May (18th 8-days period) (°C)	3.8 - 7.1	0.005	0.150	0.680
10) Mean SST from 25 May to 1 June (19th 8-days period) (°C)	5.9 - 8.1	3.100	0.763	0.028*
11) Mean SST from 2 to 9 June (20th 8-days period) (°C)	5.0 - 9.9	0.001	0.045	0.902
12) Mean SST from 10 to 17 June (21st 8-days period) (°C)	6.3 - 12.8	0.003	0.141	0.698

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

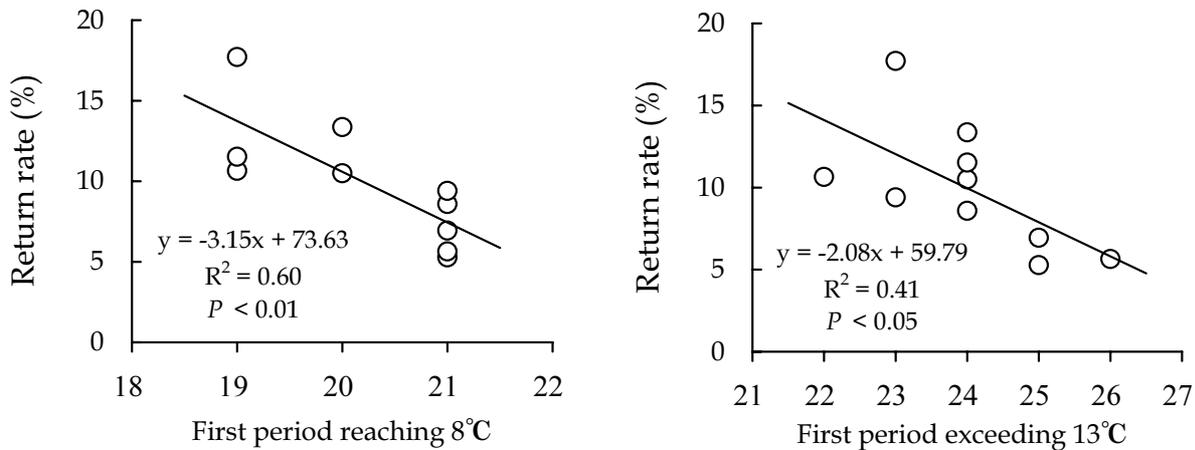


Fig. 7 Relationships between the return rates of chum salmon and SST timings first reach or exceed the 8-13 °C range in coastal areas.

有意となったのは上記（19番目；5月25日～6月1日）の一つの期間だけで、他の期間には有意な関係はみられなかった（Table 1; Fig. 8）。また、沿岸水温が8～13°Cの範囲で推移した期間の長さとも有意な関係はみられず、適水温の範囲内で推移した期間は長くても

その時期が6月中旬以降であった1996年および1997年の回帰率は低かった（Table 1）。放流時の平均体重についても、解析した範囲内（0.92～1.17 g）においては回帰率との間に有意な相関はみられなかった（Table 1）。

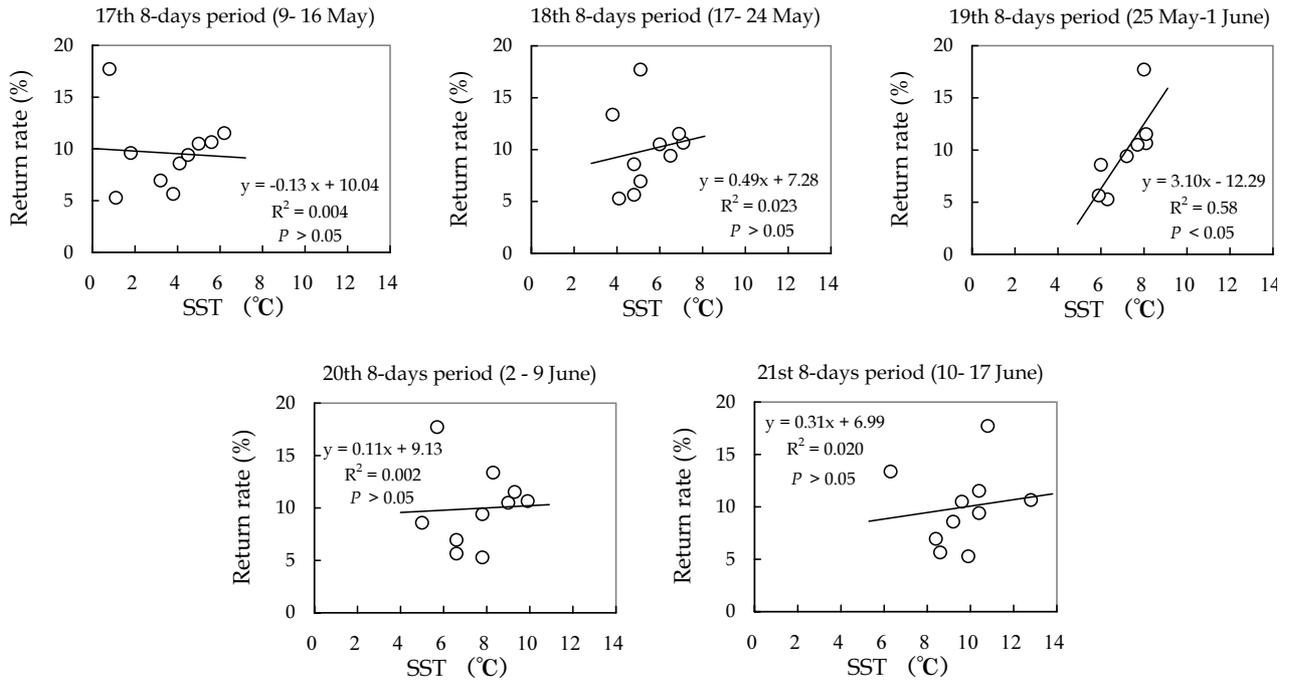


Fig. 8 Relationships between periodical mean SSTs and the return rates of juvenile chum salmon.

考 察

本研究では、オホーツク東部地区におけるサケ稚魚の放流数や放流サイズあるいは沿岸水温と回帰率との関係を調べた。その結果、沿岸水温がサケ稚魚の生息に適した水温帯と考えられる8～13°Cの範囲に早く達した年ほど回帰率が高くなる結果が得られた。さらに、上記の適水温域の上限である13°Cを早く超えた年、5月下旬（5月25日～6月1日）の平均水温が高い年もサケの回帰率が高い結果となった。これらの3つの変数は互いに相関しており、サケの放流時期あるいはその直後の沿岸水温の高い年（Fig. 9）の回帰率が高いと言えるであろう。この原因については以下のように考えられる。

オホーツク東部の網走沿岸域で最近行われている調査では（永田ら、2006; Miyakoshi *et al.*, 2007a）

水温がサケ稚魚の沿岸域での分布に強く影響することが明らかとなっている。水温が8°Cに満たない時にはサケ稚魚の分布域は渚帯（距岸<100 m）などに限られ、8°Cを超えるようになってはじめて距岸1 km以上の範囲に分布するようになる（永田ら、2006; Miyakoshi *et al.*, 2007a）。すなわち、沿岸水温が低い年には降海後、水温が上昇するまでの間、サケ稚魚は渚帯など狭く限られた海域に高密度で分布せざるを得ず、沿岸域に餌生物が豊富に分布したとしても利用することができないため、この時期の低水温はサケの生き残りには不利な条件であるものと考えられる。本研究において、沿岸水温に関する変数のうち回帰率と有意な関係がみられたのは主に5月下旬の水温条件に関するものであり、それらは、降海したサケ稚魚が沿岸に広く分布できる水温条件にあったかどうかと解釈することができる。5月下旬以外の時期の水温や適水温域で推移した期間の長さとも回帰率に有意な相関がみ

られなかったことから、サケの降海直後の短期間が生残率を左右する極めて重要な時期であるものと考えられる。

本研究ではサケ稚魚滞泳期の沿岸水温を衛星リモートセンシングにより観測した。衛星を用いることにより広い範囲における沿岸水温を同時に観測することができ、サケ稚魚の放流時期の沿岸環境の評価にも有効な技術となり得るものと思われる。ただし、本研究はサケ研究における衛星リモートセンシングの有効性のほんの一端を示したにすぎず、今後の研究の中で細かな部分の検討が必要である。たとえば、入江 (1990) は北海道オホーツク海沿岸でのサケ稚魚の生息域は距岸18km 以内であると述べているが、本研究ではその範囲よりも広い、距岸約50 km の範囲の水温を観測するにとどまった。本研究で用いたデータは9 km メッシュであることから、距岸18 km の範囲を対象とすると含まれるデータ数が少なくなり、欠測期間が多くなることを避けるためにデータの抽出範囲を広くした。解像度のより高いデータが得られれば、サケの生息する範囲内外での水温の違いを検証したり、調査海域の

サケ幼魚の生息域に合わせて解析するなど、衛星データを用いた解析の質的向上も期待できるであろう。

本研究の対象としたオホーツク海では、海水、表層低塩分水 (塩分 ≤ 32.5 psu)、中冷水、宗谷暖流 (塩分 ≥ 33.6 psu) といった特徴的な水塊の存在が知られており (Takizawa, 1982)、これらの水塊の季節的な変遷が海洋環境を形成する。サケ稚魚が降海直後に滞泳する沿岸域においても、これらの水塊の影響が水温や栄養塩濃度に関わることがフィールド研究により明らかになりつつある (Asami *et al.*, 2006; Sawada *et al.*, 2007)。衛星リモートセンシングの長所は多いが、現場観測の代用とはなり得ない (Laurs and Polovina, 2000)。衛星リモートセンシングによる海面温度の観測と並行したフィールドでの研究により、沿岸水温に影響する水塊動態などの知見を得て、調査海域での海洋環境を詳しく把握することも重要と言える。

近年のサケの来遊数の増加には、給餌飼育による放流サイズの大型化と適期放流が大きく貢献しているものと考えられている (Kobayashi, 1980; Kaeriyama, 1999)。本研究の調査期間とした1991~2001年に放流

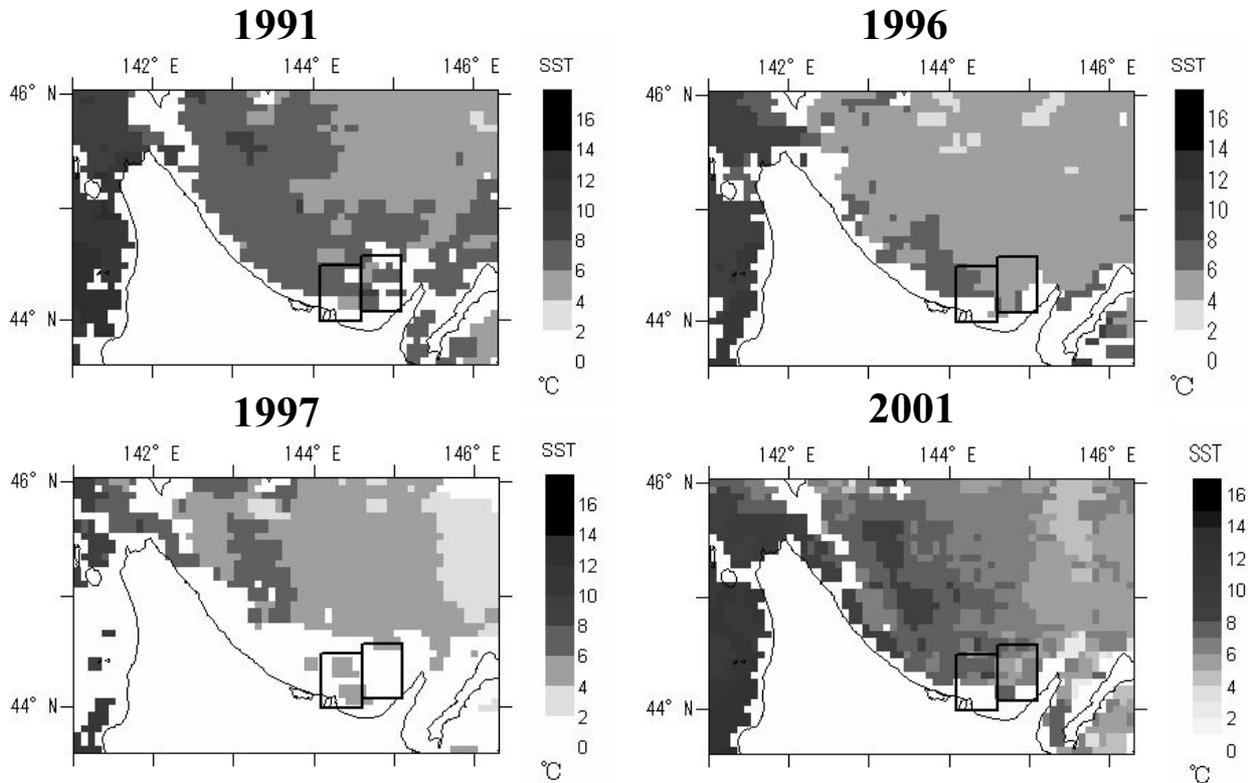


Fig. 9 Examples of satellite images during the period 25 May-1 June, in relatively high return years (1991 and 2001) and in low return years (1996 and 1997), respectively.

された稚魚の平均サイズの範囲 (0.92~1.17 g) では放流サイズと回帰率との間に有意な関係はみられなかったが、飼育施設の整備による飼育環境の改善が図られ、放流サイズは現在でも徐々に大型化している (Fig. 3)。最近では漁港に設置した生簀中での海中飼育により、平均2 g以上の大型サイズで放流する事例も増えつつある (北海道さけ・ます増殖事業協会, 2006)。本研究では、1996年あるいは1997年のように沿岸水温の上昇が遅い年は適水温域で推移する期間が長くても回帰率は低い結果となったが (Fig. 6)、そのような年に海中飼育により大型の種苗を養成して、遅い時期に放流した場合の回帰率がどのようになるか、個別の事例については今後検証する必要がある。サケの効果的かつ効率的な放流技術の確立に向け、本研究や Saito (2002) のように規模の大きな増殖地区あるいは海区といった単位での回帰率と沿岸環境の評価とともに、個別のふ化場あるいは放流群といった単位でのサケの回帰率と沿岸環境の関係 (Asami *et al.*, 2005; 永田ら, 2006; Miyakoshi *et al.*, 2007a; Sawada *et al.*, 2007) を詳しく研究することが重要と思われる。

謝 辞

本研究は平成14~17年度に7つの道立試験研究機関により実施された研究課題「リモートセンシング及びGISを活用した資源・環境評価と産業応用に関する研究およびサケ稚魚滞泳期の沿岸域の環境評価に関する研究」(北海道環境科学研究センター他, 2006)の一部として実施された。本研究の実施に当たり、北海道環境科学研究センターの高田雅之氏、濱原和広氏、布和敖斯尔博士 (現 酪農学園大学助教授) にご支援いただいた。衛星データの解析では北海道大学大学院水産科学研究院の松岡 敦氏に、稚魚放流結果の取りまとめでは北海道立水産孵化場さけます資源部の宮本真人氏、藤原 真氏にご協力いただいた。調査海域における沿岸環境やサケ増殖事業について、網走漁業協同組合、北見管内さけ・ます増殖事業協会、網走市水産科学センター、網走地区水産技術普及指導所東部支所、北海道立中央水産試験場、北海道立網走水産試験場、北海道稚内水産試験場の皆様から各種の情報をいただいた。これらの皆様に厚くお礼申し上げます。

要 約

1. オホーツク東部地区を対象として、衛星リモートセンシング (AVHRR センサー, 空間分解能9 km, 8日間合成) により観測した1991~2001年春の沿岸水温と同年に放流したサケの回帰率との関係を単回帰分析により解析した。
2. サケの回帰率と有意な関係がみられたのは、沿岸水温がサケ幼稚魚の生息に適した水温域 (8~13 °C) に達する時期、沿岸水温が適水温域 (8~13 °C) を超える時期、5月下旬 (5月25日~6月1日) の平均水温の3つであった。
3. オホーツク東部においてサケ稚魚の多くが放流される5月下旬の沿岸水温が高い年の回帰率が高い傾向がみられ、降海直後の沿岸水温がサケの生き残りに関わるものと考えられた。
4. 1991~2001年に放流された稚魚の体重の範囲 (平均0.92~1.17 g) では、放流時の平均体重と回帰率に有意な相関はみられなかった。
5. 飼育施設の整備などによりサケの放流サイズは現在も大型化する傾向がみられており、放流サイズと放流時期、沿岸環境の関係について今後の研究により検証することが重要である。

文 献

- Asami, H., Sato, H., Shimada, H., Sawada, M., Miyakoshi, Y., Ando, D., and Nagata, M. (2005). Fluctuations of the zooplankton community during early ocean life of chum salmon in the coastal waters of eastern Hokkaido, Okhotsk Sea. NPAFC Technical Report 6, 54-56.
- Bax, N. J. (1983). Early marine mortality of marked juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) released into Hood Canal, Puget Sound, Washington, in 1980. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40, 426-435.
- Cole, J. (2000). Coastal sea surface temperature and coho salmon production off the north-west United States. *Fisheries Oceanography*, 9, 1-16.

- Fukuwaka, M. and Suzuki, T. (2002). Early sea mortality of mark-recaptured juvenile chum salmon in open coastal waters. *Journal of Fish Biology*, 60, 3–12.
- Healey, M. C. (1982). Timing and relative intensity of size-selective mortality of juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) during early sea life. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39, 952–957.
- 北海道環境科学研究センター・北海道立根釧農業試験場・北海道立天北農業試験場・北海道立稚内水産試験場・北海道立水産孵化場・北海道立林業試験場・北海道立地質研究所 (2006). リモートセンシング及びGISを活用した資源・環境評価と産業応用に関する研究報告書. 北海道環境科学研究センター, 札幌, 242 p.
- 北海道さけ・ます増殖事業協会 (2006). さけます増殖事業成績書 (平成9~16年度). 北海道さけ・ます増殖事業協会, 札幌, 212 p.
- 北海道立水産孵化場 (2000). 平成7~11年度日本海さけます回帰率向上対策調査報告書. 北海道立水産孵化場, 146 p.
- 北海道立水産孵化場 (2002~2006). 平成12~16年度事業成績書. 北海道立水産孵化場, 恵庭.
- 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. 西海区水産研究所研究報告 68, 1–142.
- Kaeriyama, M. (1999). Hatchery programmes and stock management of salmonid populations in Japan. In: Stock Enhancement and Sea Ranching (Howell, B. R., Moksness, E. and Svåsand, T. eds.), pp. 153–167. Blackwell-Science, Oxford.
- Kitahashi, T., Ando, H., Urano, A., Ban, M., Saito, S., Tanaka, H., Naito, Y. and Ueda, H. (2000). Micro data logger analyses of homing behavior of chum salmon in Ishikari Bay. *Zoological Science*, 17, 1247–1253.
- 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, 31, 39–44.
- Kobayashi, T. (1980). Salmon propagation in Japan. In: Salmon Ranching (Thorpe, J. E. ed.), pp. 91–107. Academic Press, London.
- Laur, R. M. and Polovina, J. J. (2000). Satellite remote sensing: an important tool in fisheries oceanography. In: Fisheries Oceanography. An Integrated Approach to Fisheries Ecology and Management. (Harrison, P. J. and Parsons, T. R. eds.), pp. 146–157. Blackwell Science, Oxford, UK.
- Mayama, H. and Ishida, Y. (2003). Japanese studies on the early ocean life of juvenile salmon. *NPAFC Bulletin*, 3, 41–67.
- Miyakoshi, Y., Fujiwara, M., Ando, D., Shimada, H., Sawada, M., Asami, H., and Nagata, M. (2007a). Distribution and growth of juvenile chum salmon in the Abashiri Bay, eastern Hokkaido, in relation to sea surface temperature. *NPAFC Technical Report*, 7, in press.
- Miyakoshi, Y., Saitoh, S., Matsuoka, A., Takada, M., Asami, H., Fujiwara, M., and Nagata, M. (2007b). Comparison of release timing of hatchery-reared juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*) to spring coastal sea surface temperature during high and low survival period. *GIS/Spatial Analyses in Fishery and Aquatic Sciences, Volume 3*, in press.
- Nagata, M. and Kaeriyama, M. (2004). Salmonids status and conservation in Japan. In: Proceedings from the World Summit on Salmon (Gallaughier, P. and Wood, L., eds.), pp.89–97. Simon Fraser University, Burnaby.
- 永田光博・宮腰靖之・藤原 真・安藤大成・澤田真由美・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.
- Pearcy, W. G. (1992). Ocean Ecology of North Pacific Salmonids. University of Washington Press, Seattle, 179 p.
- Quinn, T. P. (2005). The Behavior and Ecology of Pacific Salmon & Trout. University of Washington Press, Seattle, 378 p.
- Saito, T. (2002). Fluctuations in return rates of hatchery-reared chum salmon (*Oncorhynchus keta*) in relation to coastal ocean environment in Japan. NPAFC Doc. 614, National Salmon Resources Center, Sapporo, Sapporo, 20 p.

- 関 二郎 (2005). 北海道太平洋沿岸域におけるサケ
幼稚魚の摂餌特性と餌料環境に関する研究. さけ・
ます資源管理センター研究報告, 7, 1-104.
- Sawada, M., Shimada, H., Asami, H., Sato, H.,
Miyakoshi, Y., Ando, D., Fujiwara, M. and
Nagata, M. (2007). Seasonal and Annual
changes of oceanographic condition during
early ocean life of chum salmon in the
coastal waters of eastern Hokkaido, Okhotsk
Sea. *NPAFC Technical Report*, 7, in press.
- 水産庁北海道さけ・ますふ化場 (1992~1997). 平成2
~8年度事業成績書. 水産庁北海道さけ・ますふ
化場, 札幌.
- 水産庁さけ・ます資源管理センター (1999~2000).
サケ属魚類資源生物モニタリング. *Salmon
Database*, 7(1)~9(1), 水産庁さけ・ます資源管
理センター, 札幌.
- Takizawa, T. (1982). Characteristics of the Soya
Warm Current in the Okhotsk Sea. *Journal
of the Oceanographical Society of Japan*, 38,
281-291.