

石狩湾系ニシンの初回産卵年齢における年級豊度に関連した成熟割合と体サイズの変化

高柳志朗*¹, 山口幹人*¹, 石田良太郎*²

Changes in body length and proportion of mature fish at first spawning age in relation to strength of year class in the Ishikari Bay herring (*Clupea pallasii* Valenciennes).

Shiro TAKAYANAGI*¹, Motohito YAMAGUCHI*¹ and Ryotaro ISHIDA*²

Annual changes in body size and the proportion of mature fish at first spawning age (1 year old) were examined for the Ishikari Bay herring (*Clupea pallasii*) on the basis of samples collected during January and March from 1998 to 2007 in offshore waters, near the main spawning ground along the Sea of Japan coast in Hokkaido. The proportion of mature females varied from 27% (in the 2001 year class) to 100% (in the 1996, 1999 and 2002 year classes). Average fork length ranged from 217 mm (in the 2001 year class) to 245 mm (in the 2002 year class). On the other hand, the abundance of 1-year-old fish was extremely high in the 2001 year class and relatively low in the 1996-2000 and 2002-2003 year classes, and at a medium level in the 2004 and 2005 year classes. Spearman's rank correlation revealed significant correlations among the proportion of mature females, average fork length and stock number. These results suggest that body size and the proportion of mature fish are closely associated with strength of year class.

キーワード：ニシン, 成熟割合, 年級豊度, 体サイズ, 石狩湾系ニシン

はじめに

石狩湾系ニシンは、2～4月に石狩湾を中心に、北は稚内宗谷湾までの北海道日本海沿岸域に産卵場をもつ地域性ニシンであり¹⁾、冬季～初春にかけて、これらの沿岸地域の重要な漁業資源となっている。石狩湾系ニシンの産卵群漁獲量は、1962～1996年では1～100トンの範囲で小刻みに変動していたが、1997年に157トンと漁獲の急増がみられた²⁾。その後200トン前後で変動を繰り返しながら、2004年には約1,230トン、2009年には約1,880トンを記録し、270～1,880トンの範囲で大きく変動している。

本系群に対する北海道庁による資源増大の取り組み³⁾が開始された1996年以降については、VPAによる資源解析が実施され、資源量や再生産関係も推定されており⁴⁾、近年の石狩湾系ニシンの資源水準は1990年代前半以前に比べ非常に高いこと、また大きく変動していることが示されている。

資源が大きく変動することは、マイワシ、ニシンなどのニシン科魚類のほか、マサバ太平洋系群などでもみられ、これらの魚種では資源量の水準によって成長⁵⁻⁷⁾や初回産卵年齢⁸⁻¹¹⁾が変化することが知られている。成長や初回産卵年齢における成熟割合の変化は産卵親魚重量(SSB)に大きく影響し、資源変動と深く関わっている。

報文番号 A447 (2009年12月9日受理)

*1 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experiment Station, 238 Hamanaka Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

*2 北海道立釧路水産試験場 (Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station, Hama-cho Kushiro, Hokkaido, 085-0024, Japan)

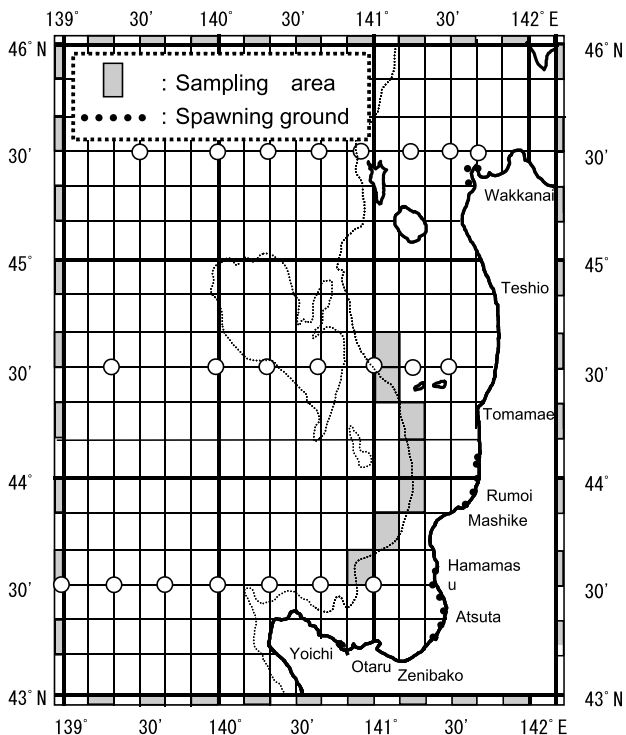


Fig.1 Sampling area and spawning ground of the Ishikari Bay herring. Clear circles indicate the observation points of sea temperature by HFES.

そのため、これらの変化を把握し、その要因を解明することは、資源変動機構を明らかにするために必要不可欠である。

本研究では、石狩湾系ニシンの初回産卵年齢である満1歳（生まれてほぼ2年）魚の成熟割合について、資源量が急増したと考えられる2001年級¹²⁾を中心に、その前後の年級との比較を行い、体サイズや年級豊度や資源量、さらには発生年とその翌年の水温などとの関係を検討した。

材料および方法

1. 解析に用いた標本

1998～2007年に、主として魚群が産卵接岸する前に分布すると考えられる沖合域において、1～3月に沖合底曳き網漁船により漁獲されたニシン標本を用いた(Table 1, Fig.1)。ただし、2002年級については、沖合域では標本が得られなかったため、11月に羽幌町沖の沿岸域で刺し網により漁獲されたニシン標本5尾を用いた。

2. 各年級の成熟割合・体サイズおよび肥満度

個体ごとに尾叉長 (mm)、体重 (g) および生殖腺重量 (0.1g) を計測し、性別の判定を行った。また、耳石を用いて年齢査定を行い、誕生日を5月1日として満1歳

Table.1 Numbers of Ishikari Bay herring from 1998 to 2007 used for analysis of the proportion of maturer fish.

| Year class | Sampling date | Number of herrings | | | fishing gear |
|------------|----------------|--------------------|------|-------|--------------|
| | | female | male | total | |
| 1996 | 3rd Feb. 1998 | 26 | 15 | 41 | seine |
| | 26th Feb. 1998 | 14 | 21 | 35 | |
| 1997 | 24th Jan. 1999 | 21 | 19 | 40 | seine |
| | 9th Feb. 1999 | 34 | 26 | 60 | |
| 1998 | 17th Feb. 1999 | 24 | 38 | 62 | seine |
| | 24th Jan. 2000 | 30 | 19 | 49 | |
| | 21th Feb. 2000 | 27 | 25 | 52 | |
| 1999 | 16th Feb. 2001 | 78 | 62 | 140 | seine |
| 2000 | 24th Feb. 2002 | 17 | 12 | 29 | seine |
| 2001 | 7th Mar. 2003 | 74 | 73 | 147 | seine |
| 2002 | 20th Nov. 2003 | 1 | 4 | 5 | gill net |
| 2003 | 1st Feb. 2005 | 195 | 127 | 322 | seine |
| 2004 | 22th Feb. 2006 | 139 | 174 | 313 | seine |
| 2005 | 10th Feb. 2007 | 11 | 8 | 19 | seine |
| | 19th Feb. 2007 | 8 | 2 | 10 | |

であると査定された個体のみを解析に用いた。肥満度は、内臓除去重量 (g) ÷ 尾叉長 (mm)³ × 10⁶、として求めた。未熟魚と成熟魚を以下の基準で区分し、成熟割合 (%) = 成熟個体 ÷ 測定個体 × 100とした。生殖腺が細い糸状カリボン状で、生殖腺重量が1g未未満である個体を未熟魚とし、それ以外を成熟魚とした。

また、ロジスチック回帰¹³⁾と最尤法により、雌雄別に、尾叉長と成熟・未成熟個体を分けたデータを用いて、ロジスティック曲線のパラメタを推定し、50%成熟尾叉長を求めた。

3. 稚魚期の体サイズ

石狩川河口付近において、1996～2005年に調査用地曳き網を用いた稚魚採集調査¹⁴⁻¹⁶⁾により得られたニシン稚魚の全長 (mm) データを集計・整理した。そのうち、データが整っていた7月上旬における1999～2005年級の稚魚について、平均全長を調べた。

4. 各年級の成熟割合・体サイズと肥満度・年級豊度・資源豊度および水温との関係

まず、各年級の成熟割合および体サイズと資源豊度との関係を検討した。体サイズとしては各年級の雌雄込みの平均尾叉長、年級豊度と資源豊度としては、それぞれ山口ほか⁴⁾によるVPAにより算出された満1歳時の資源尾数と各年齢の資源重量の合計値 (資源重量: Stock Biomass) を用いた。次に、各年級の成熟割合および体サイズと水温との関係を検討した。水温データは、北水試による定期海洋観測により、1997～2006年に得られた北緯43°30'～45°30'、東経139°00'以東の北海道沖日本海海域、22定点において2, 4, 6, 8, 10および12月に観測された表層および100m層の値を使用した。そして、これらの水温データを年級発生年とその翌年について、各月・各層の平均値を求めた。

以上のデータを用いて、各年級の雌の成熟割合および体サイズ (雌雄込み) との関係について、Spearmanの順

位相関により相関関係を検討した。

結果

1. 成熟割合の変化

1.1 各年級の初回産卵年齢（満1歳）の成熟割合

1996～2005年級における満1歳時の成熟割合をFig.2に示した。雌の成熟割合は1996～2000年の年級では、89.5～100%であったが、2001年級では27.0%と大きく低下した。2002年級では、100%と高かったが、2003～2005年級では、79.0～46.7%と再び低下している。また、雄でも、雌と概ね同様の変化がみられている。

1.2 50%成熟尾叉長

1996～2005年級において得られた個体ごとの尾叉長と成熟・未成熟区分のデータを用いて、以下のロジスティック曲線が推定された (Fig. 3)。

雄では、

$$m_{FL}(\%) = \frac{100}{1 + \exp(-0.051(FL - 9.82))}$$

雌では、

$$m_{FL}(\%) = \frac{100}{1 + \exp(-0.078(FL - 16.21))}$$

また、得られたパラメタを用いて、50%成熟尾叉長を求めた。その結果、1996～2005年級の年級区分をせずに計算した50%成熟尾叉長は、雄では194.1mm、雌では206.9mmと推定され、成熟サイズは雄の方が小さかった。

1.3 各年級の尾叉長階級別成熟割合

雌雄について、各年級における満1歳魚の尾叉長と成熟の関係について検討した (Fig. 4)。1996～1999年級では220mm台以上の成熟割合は、雌雄とも100%あるいはそ

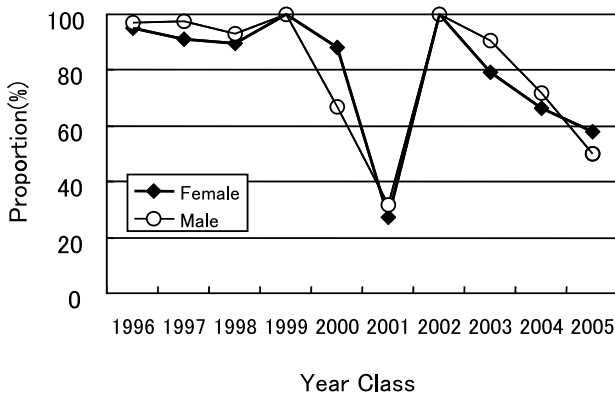


Fig.2 Annual changes in the proportion of mature fish aged 1 year for the Ishikari Bay herring.

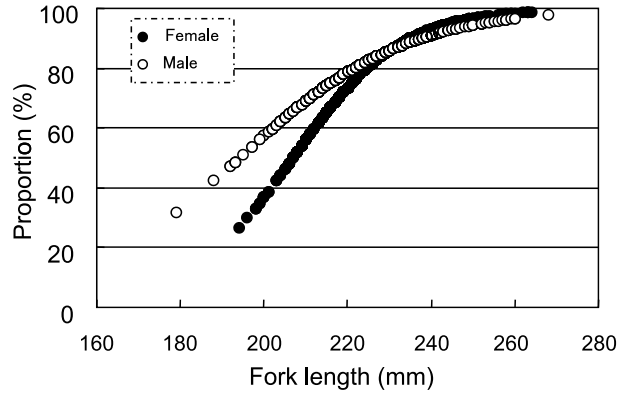


Fig.3 Proportion of mature females and male by fork length. Data were obtained from 1996 to 2005 year classes. Circles indicate the plot calculated by a logistic regression.

れに近かった。しかし、210mm台では年級間で差がみられ、1997年級と1999年級では100%であったのに対し、1998年級の雌成熟割合は67%、雄は33%であった。2000年級では雄が220～230mm台で成熟割合が低かった。雌雄とも成熟割合が大きく低下した2001年級では、220mm台より大きな階級でも成熟割合は40%程度、あるいはそれ以下であり、他の年級と大きく異なっていた。2002年級では230mm以上の個体のみが得られ、すべて成熟していた。

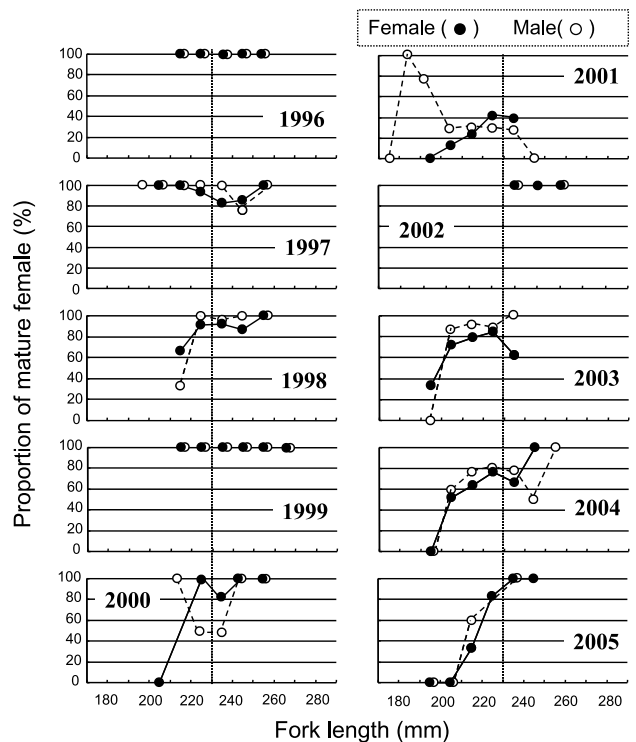


Fig.4 Interannual changes in the proportion of 1-year-old mature fish by fork length of the 1996-2005 year classes.

2003年級以降の年級では、1999年級以前の年級に比べ230mmより小さい階級で成熟割合の低下が認められた。

2. 各年級の初回産卵年齢の平均尾又長

1998年～2007年に主として沖合域において漁獲され、標本として用いられたニシン満1歳魚の尾又長組成をFig. 5に示した。各年級の尾又長組成のモードは2002年級では25cm台、1996年級、1998年級、1999年級および2000年級では230mm台にみられ、1997年級では220mm台であった。2001年と2003～2005年の4つの年級では、いずれも210mm台にみられた。平均尾又長は2002年級で250mmと最も大きく、2001年級で217mmと最も小さく、2002年級、1996年級、1999年級、2000年級、1998年級、1997年級、2005年級、2004年級、2003年級、2001年級の順で大きかった。以上のように、年級間で体サイズに大きな差異があった。

3. 稚魚期の体サイズ

7月上旬に採集された1999～2005年級の平均全長は、45.1～78.0mmの範囲であり、2001年級で最小、2002年級で最大であった (Table 2)。

検討できる1999～2005年級の1歳魚の平均尾又長を用いて、稚魚期の全長との相関関係を調べると、有意な正の相関 ($r=0.95(p<0.01)$) があり、稚魚期のサイズが大きいほど、1歳魚のサイズは大きい傾向が認められた。

4. 各年級の肥満度

各年級の肥満度の変化と、雌について成熟魚と未成熟魚との間で肥満度に差がみられるのかを検討した (Fig. 6)。年級ごとの平均肥満度については、8.3～9.5の範囲であり、1997年級と2002年級で高く、1996年級と1999年級で低く、大きな差異が認められた。一方、成熟割合が特に低かった2001年級では8.7であり、ほぼ平均的な数値となっていた。成熟魚と未成熟魚について同じ年級内で平均肥満度を比較すると、両者には統計的には有意差はなかった (t 検定, $p>0.05$)。

Table.2 Average total length of juveniles collected in early July.

| Year | Total length (mm) | Number of specimens |
|------|-------------------|---------------------|
| 1999 | 52.7 | 652 |
| 2000 | 67.0 | 37 |
| 2001 | 45.1 | 410 |
| 2002 | 78.0 | 175 |
| 2003 | 47.1 | 240 |
| 2004 | 54.0 | 1,269 |
| 2005 | 49.6 | 283 |

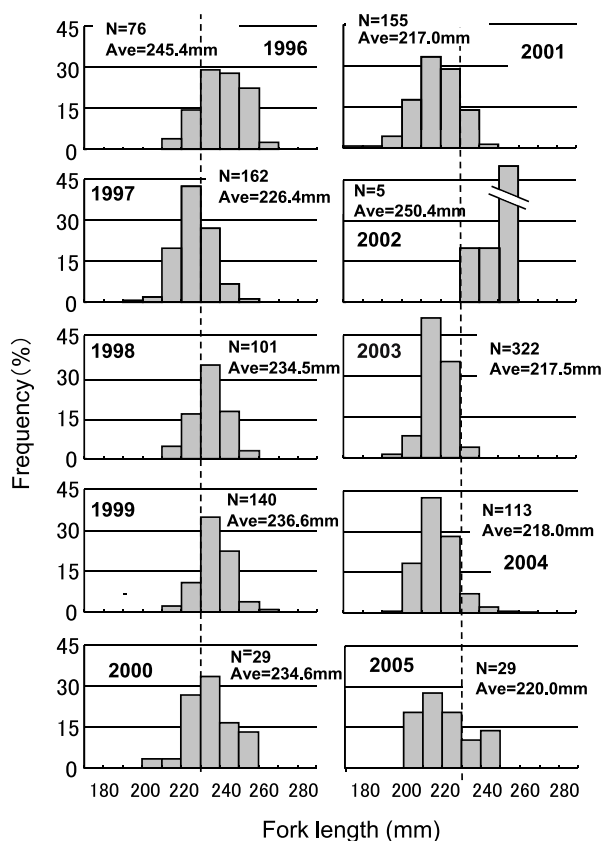


Fig.5 Annual changes in fork length frequency distribution of 1-year-old Ishikari Bay herring caught offshore in the Sea of Japan. N and Ave. indicates the number of individuals examined and the average fork length of each year class, respectively.

5. 各年級の成熟割合・体サイズと年級豊度・資源豊度・肥満度および水温との相関関係

前述したように、各年級の初回産卵年齢の成熟割合および体サイズ、さらには稚魚期の体サイズに大きな年変化がみられ、肥満度にも年級間で差違があった。一方で、1996年以降、石狩湾系ニシンの年級豊度や資源量には大

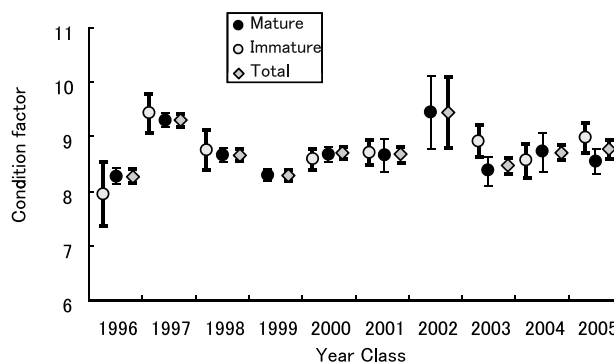


Fig.6 Annual changes in condition factors of the Ishikari Bay herring by maturity group. Upper and lower ticks indicate the 95% confidence interval.

きな変動がみられている³⁾。各年級における雌の成熟割合、体サイズ、肥満度および年級豊度、年級発生年の資源重量 (Stock Biomass) と表面 (SST) と100m層の水温および翌年の表面と100m層の水温をTable 3に示した。また、各変数間での相関関係 (Spearmanの順位相関) をTable 4に示した。

雌の成熟割合は体サイズ ($r=0.80$) と年級豊度 ($r=-0.88$) との間で高い相関係数が認められた ($p<0.01$)。また、発生年翌年の6月の表面水温和との間に負の相関関係がみられた ($p<0.05$)。ただし、雌の成熟割合は資源重量との間には相関は認められなかった。

平均尾叉長と有意な関係が認められたのは、上述の成熟割合のほか、年級豊度であり、前者とは正、後者とは負の相関が認められた ($p<0.05$)。また、体サイズは発生年翌年の10月の表面水温和と4月および6月の100m層水温和との間に負の相関関係が認められた ($p<0.05$)。なお、成熟割合と同様に、資源重量との間には相関は認められなかった。

考察

1. 成熟割合の推定

本研究で用いた標本は、2001年級を除き、11月から翌年3月上旬に得られた。また、2002年級を除いて、沖合域から得られた。太平洋ニシン (ブリティッシュ・コロンビアニシン) では、卵径サイズからみて、9~11月に

は成熟・未成熟の区分が可能で、この頃に成熟に向かう個体と未成熟のままの個体とに分かれることが報告されている¹⁷⁾。石狩湾系ニシンは産卵期前の11~2月には沖合域に分布し、産卵期とされる1~4月には、成熟の進んだ個体は産卵に備え沿岸域に來遊する¹⁸⁾。一方で、初回産卵である満1魚では、経産卵魚である満2歳以上に比べ遅い3月中旬以降に産卵することが知られている¹⁸⁾。これらの太平洋ニシンおよび石狩湾系ニシンの産卵に関する動向から判断して、本研究で行った初回産卵年齢における成熟割合の推定結果は妥当であると考えられた。

2. 成熟割合と体サイズ(平均尾叉長)の関係

成熟割合と体サイズの間には強い正の相関関係が認められ、成熟割合が体サイズと密接な関係があることが示された。また、2003年以降の年級では体サイズの小さい個体の出現頻度が高くなり、それに伴って、成熟割合の低下がみられた。さらに、2001年級以外の年級では、雌は230mmより大きい個体ではほとんどが成熟していた。一方で、もっとも成熟割合の低い2001年級では、230mm台でも約半数が未熟であり、この年級においてみられた成熟と体サイズの関係は他の年級と大きく異なっていた。このことについての原因に関しては、必ずしも明らかではないが、稚魚期である7月上旬における体サイズが2001年級で最も小さかったことから、生活史初期の成長が、その後の成熟サイズに影響した可能性がある。

今後は、稚魚期~未成魚期~成魚期の成長を詳しく調

Table.3 Variables for Spearman's rank correlation analysis with proportion of mature females and fork length at age 1.

| Year (class) | Proportion of mature female | Fork length at age 1 (mm) | Stock number at age 1 ($\times 10^5$) * | Stock Biomass (metric ton) | Condition factor | SST(° C) ** | | | | | | T at 100m depth (° C) ** | | | | | |
|--------------|-----------------------------|---------------------------|---|----------------------------|------------------|-------------|------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|------|------|------|------|------|
| | | | | | | Feb. | Apr. | Jun. | Aug. | Oct. | Dec. | Feb. | Apr. | Jun. | Aug. | Oct. | Dec. |
| 1996 | 100.0% | 245.4 | 26.2 | 75.1 | 8.3 | 4.96 | 5.42 | 10.79 | 18.55 | 18.40 | 7.55 | 5.00 | 4.01 | 4.95 | 5.59 | 6.08 | 5.88 |
| 1997 | 91.9% | 227.2 | 55.2 | 221.0 | 9.3 | 4.90 | 4.48 | 9.84 | 20.01 | 14.57 | 10.60 | 5.07 | 3.63 | 3.91 | 5.35 | 6.42 | 6.81 |
| 1998 | 89.5% | 234.5 | 19.6 | 284.8 | 8.7 | 4.08 | 5.28 | 10.30 | 18.97 | 16.90 | 9.81 | 3.99 | 3.78 | 3.87 | 5.11 | 7.07 | 7.62 |
| 1999 | 100.0% | 236.8 | 41.5 | 312.9 | 8.3 | 3.55 | 5.46 | 10.83 | 19.58 | 17.21 | 12.00 | 3.64 | 3.14 | 4.85 | 6.09 | 6.76 | 9.48 |
| 2000 | 88.2% | 234.6 | 8.4 | 278.5 | 8.7 | 5.47 | 5.51 | 11.31 | 19.56 | 16.30 | 8.55 | 4.56 | 4.13 | 4.75 | 6.81 | 8.26 | 7.44 |
| 2001 | 27.0% | 217.0 | 374.1 | 286.0 | 8.7 | 2.99 | 4.71 | 10.36 | 19.28 | 15.38 | 9.95 | 3.25 | 3.07 | 4.24 | 4.80 | 5.69 | 7.58 |
| 2002 | 100.0% | 245.3 | 6.9 | 739.6 | 9.4 | 4.95 | 6.35 | 12.65 | 19.32 | 17.03 | 9.69 | 4.30 | 4.15 | 5.20 | 6.01 | 7.14 | 7.07 |
| 2003 | 79.0% | 217.5 | 30.8 | 2,970.5 | 8.5 | 4.53 | 5.68 | 10.73 | 17.55 | 15.81 | 9.88 | 4.17 | 3.51 | 4.26 | 5.08 | 5.81 | 6.09 |
| 2004 | 66.2% | 217.9 | 208.3 | 1,310.3 | 8.7 | 5.43 | 6.53 | 10.76 | 20.42 | 16.73 | 11.65 | 5.00 | 4.28 | 5.03 | 6.54 | 8.00 | 8.84 |
| 2005 | 46.7% | 217.2 | 116.3 | 961.6 | 8.8 | 3.83 | 6.31 | 11.81 | 19.96 | 19.52 | 9.36 | 4.68 | 4.72 | 6.01 | 6.12 | 7.45 | 6.59 |
| 2006 | - | - | - | - | - | 2.65 | 4.63 | 10.53 | 20.00 | 16.50 | 9.96 | 3.94 | 3.89 | 4.46 | 6.08 | 6.06 | 6.68 |

*:Stock number at age 0 and SSB estimated by VPA (Yamaguchi et al, 2009)

** :Average SST and T at 100m depth at the 22 stations observed 2 month apart (Fig. 1)

Table.4 The matrices of the rank correlation coefficient.

| | Fork length at age 1 | Stock number at age 1 | Stock biomass (metric ton) | Condition factor | SST(° C) | | | | | | WT at 100m depth (° C) *** | | | | | |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------|------------------|----------|-------|---------|-------|---------|-------|----------------------------|---------|---------|-------|-------|-------|
| | | | | | Feb. | Apr. | Jun. | Aug. | Oct. | Dec. | Feb. | Apr. | Jun. | Aug. | Oct. | Dec. |
| Proportion of mature female | 0.80 ** | -0.88 ** | -0.52 | -0.35 | 0.13 | -0.41 | -0.72 * | -0.26 | -0.45 | 0.10 | 0.01 | -0.45 | -0.54 | -0.27 | -0.09 | 0.13 |
| Fork length at age 1 (mm) | - | -0.65 * | -0.14 | -0.21 | 0.11 | -0.54 | -0.54 | -0.50 | -0.68 * | -0.01 | -0.08 | -0.64 * | -0.62 * | -0.45 | -0.41 | -0.15 |

* Asterisk show the significant level, $p<0.05$.

** Asterisk show the significant level, $p<0.01$.

*** Correlation coefficient of SST and WT at 100m depth are calculated using data set before 1 year.

べるとともに、成熟と体サイズとの関係をより詳しく調べるのが重要である。

3. 初回成熟年齢における体サイズの大小に関わる要因

初回産卵年齢の成熟割合は1歳時の体サイズ、すなわち成長と密接に関連していることが示された。成長に関わる要因について、北海道・サハリン系ニシンでは索餌期前の水温上昇が成長に負の影響を与えているとの報告¹⁹⁾があり、本研究でも体サイズは発生年翌年の4月および6月の100m層水温と10月の表面水温と負の相関を有した。このことは、石狩湾系ニシンの成長が、満1歳時点で生息している水域の環境水温の影響を受けていることを示唆する。また、負の相関がみられたことから索時期における高水温は餌要求量や代謝を通して、成長を妨げる要因となっている可能性がある。

一方、北海道・サハリン系ニシンでは、体サイズ(体長)は生活史初期の成長に大きく影響されることが指摘されており¹⁹⁾、本研究でも稚魚期と満1歳時の体長に正の相関があることが認められた。これらのことから、年級群間の成長の差を知るためには、稚魚期から成熟に達するまでの連続した期間の成長を、環境という要素と関連させて調べる必要がある。

4. 成熟割合と肥満度および水温との関係

肥満度は栄養状態を表す一つの指標であり、石狩湾系ニシンでもそれを示す報告²⁰⁾がある。そして、同科のマイワシでは一定以上の栄養状態は産卵に加わる必須条件であるとされる⁹⁾ことから、肥満度は成熟との間には密接な関係があると考えられる。

しかし、本研究では肥満度は、成熟に達したグループと未熟のグループの間に有意差は認められなかった。石狩湾系ニシンでは、1～3月の肥満度は、索餌期から成熟が少し進む9月以降12月に比べると低いことが報告されている¹⁷⁾。このため、成熟、未成熟が分化する時点では、マイワシ同様に成熟する個体の肥満度が高く、その後、成熟する個体は栄養を配偶子形成に用いたために肥満度が低くなったと考えられる。その一方で、成熟へと向かわなかった個体は栄養配偶子形成に栄養を使わずそのまま肥満度を維持したため、調査を行った1～3月では両者に差がみられなかったものと推察することも可能である。

しかし、石狩湾系について成熟する個体と成熟しない個体の成長に関する知見の報告はない。今後は、成熟と未成熟が分かれる時期を特定するとともに、その時期に標本を得るとともに、両者の肥満度、さらには栄養状態を示す体成分等を調べ、比較・検討する必要がある。

一方、各年級の満1歳時の成熟割合は発生年翌年の6月の表面水温との間に負の相関が認められた。このこと

は、水温が初回成熟年齢時の体サイズや成長を介さず、直接の影響を与えている可能性を示唆する。このことは、2001年級の成熟サイズが他の年級とは異なっていたことと関連があるとも考えられ、水温が成熟の進行にどのような影響を与えるのか、今後検討する必要がある。

5. 成熟割合・尾叉長の変化と年級豊度の関係

本研究で、石狩湾系ニシンの初回産卵年齢である満1歳の成熟割合および体サイズと年級豊度には負の相関関係が認められ、石狩湾系ニシンでも成熟や成長に関する特性が資源変動に深く関わっていることが明らかとなった。

マイワシ太平洋系群では資源変動に伴う成熟産卵生態に変化が認められ、資源の高水準期には3歳以上が初回産卵年齢であったが、低水準期には満1歳になったことが知られている⁶⁾。また、マサバ太平洋系群では資源の衰退によって、1～4歳魚の成熟割合が上昇したことが報告されている⁷⁾。さらに、広域性ニシンの北海道・サハリン系ニシン(春ニシン)でも資源の衰退に伴い、産卵年齢の低下が報告されている⁸⁾。これらは資源変動が激しいことに加え、大きく回遊し、分布範囲が広い魚類である。

これらに対し、石狩湾系ニシンは、分布・回遊範囲の狭い地域性ニシンとして位置づけられているが、本研究期間の10年間に年級豊度の最高値と最低値の間には54倍程度の大きな差があった。また、1995年以前も含めると、資源豊度は10の3乗程度という大きな幅で変動する資源であり²¹⁾、これらの点で北海道・サハリン系ニシン、さらにはマイワシやマサバと共通点を有していることになる。

成熟割合および体サイズと年級豊度の間には負の相関関係が認められたが、資源重量とは有意な相関関係は認められなかった。マイワシで指摘されている^{5, 22)}ように、体サイズに関しては、石狩湾系ニシンでも、年級豊度が成長に対して一定の影響を与えていることを示すものと考えられる。また、1歳になるまでの過程の中で、個体群密度が成長に関与していることを示唆する。ただし、マイワシでは、ある年級の成長は年級内部のみではなく前後の年級豊度にも影響を受けていることが報告されている⁴⁾。以上のことは、単一年級で群形成する、複数年級で群構成する、という魚群形成の仕方の違いに起因するものと考えられる。

成熟割合と年級豊度には負の相関関係が認められながら、成熟割合が資源重量と相関関係を持たなかったことに関しては、石狩湾系ニシンにおいて、個体が成熟するかしないかは、直接個体群密度に影響されるというよりは、成熟は体サイズを介して、間接的に影響を受けると

いう解釈もされうる。しかし、2001年級でみられたように、成熟する体サイズそのものが変化する場合もあることから、複合的な要因が関与するものと推察される。

いずれにしろ、地域性ニシンである石狩湾系ニシンにおいても、他の浮魚類と同様に、個体群密度が成長ひいては成熟の進行に関与している可能性が高い。

本研究では、初回産卵年齢の成熟割合には、年級間で大きな変化がみられ、これには体サイズの変化が伴っていたこと、これらの変化は年級豊度と密接な関係があることが示された。初回産卵年齢の成熟割合は、そのこと自体が資源変動と関連し、また、資源変動に対し影響を与えると考えられる。このため、石狩湾系ニシンにおいて、年々の成熟割合や体サイズなどの資源特性値をモニタリングすることは、資源解析や再生産関係の検討を進め、資源変動のメカニズムを解明するために、今後とも継続して実施する必要がある。

要 約

1. 1998年～2007年秋季から冬季にかけて、主として沖合域で、1～3月に漁獲された石狩湾系ニシンを用いて、初回産卵年齢（満1歳魚）の成熟割合と体サイズ（平均尾叉長）の変化を調べ、年級豊度や北海道沖日本海海域の水温との関係を検討した。
2. 雌の成熟割合は27%～100%と大きく変化した。また、体サイズは217mm～250mmの範囲で変化した。この間の各年級の豊度には54倍程度の大きな変動がみられた。
3. 成熟割合は低い年級では体サイズが小さかった。また、成熟割合は低く、体サイズは小さい年級では、豊度が高い傾向があり、3者間で有意な相関（Speamanの順位相関）が認められた（ $P<0.05$ ）。
4. 成熟割合および体サイズと水温との間には多くの月で相関関係はみられなかったが、一部の月で負の相関関係を有した。
5. 以上のことから、石狩湾系ニシンの初回産卵年齢の成熟割合や体サイズは、年級豊度と密接な関係があることが示された。

謝 辞

本研究は、平成8～13年実施の「日本海ニシン資源増大プロジェクト」および平成14～19年実施の「日本海ニシン増大推進プロジェクト」の中で行われ、本事業に参加した中央・稚内水産試験場の資源管理部および資源増殖部門の研究者には多大なる支援と協力を頂いた。また、小樽機船漁業協同組合職員には、ニシン標本の採取に際

し、協力を頂いた。これらの方々に、心から感謝申し上げます。

文 献

- 1) 小林時正：太平洋ニシンの集団遺伝学的特性と種内分化に関する研究. 遠洋水研報. 30, 1-77 (1993)
- 2) 高柳志朗, 石田良太郎：石狩湾系ニシンの漁獲量変動と体長組成の経年変化. 北水試研報. 62, 71-78 (2002)
- 3) 北海道水産林務部：平成8年～10年度日本海ニシン資源増大プロジェクト報告書. 2000, 174p.
- 4) 山口幹人, 瀧谷明朗, 山口宏史, 三宅博哉, 高柳志朗：石狩湾系ニシンのVPAに基づく種苗放流および漁業管理効果の試算. 北水試研報. 77, 21-27 (2010)
- 5) 和田時夫：道東海域におけるまき網対象マイワシ資源の来遊動態に関する研究. 北水研研報. 52, 1-138 (1988)
- 6) Morishita, Haruyuki: Age and growth of Japanese sardine *Sardinops melanostictus* in Tosa Bay, southwestern Japan during a period of declining stock size. *Fishery Science*. 69, 745-754 (2003)
- 7) Watanabe, C. and Yatsu, A. : Effect of density-dependence and sea surface temperature on interannual variation in length-at-age of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Kuroshio-Oyashio area during 1970-1997. *Fishery Bulletin*. U. S., 102, 196-206 (2006)
- 8) Motoda, S. and Hirano, Y.: Review of Japanese herring investigations. Rapport et Proces-Verbaux des Reunions, Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer. 154, 249-261 (1963)
- 9) 森本晴之：“5. 成熟”. マイワシの資源変動と生態変化. 水産学シリーズ119. (渡邊良朗・和田時夫編), 恒星社厚生閣, 東京, 1998. 48-53.
- 10) 平本紀久雄：マイワシ太平洋系群の房総およびその周辺海域における発育と生活に関する研究. 千葉水試研報. 39, 1-127 (1981)
- 11) Watanabe, C. and Yatsu A. : Long-term changes in maturity at age of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in relation to population decline in the waters off northern Japan. *Fishery Research*. 78, 323-332 (2006)
- 12) 高柳志朗：2001年級の特徴を探る. ①成長・成熟年齢・分布域などの特徴とその変化. 水産海洋研究. 69(2), 107-109 (2005)

- 13) 岸野洋久：生のデータを料理するー統計科学における調査とモデル化。東京，日本評論社，2001，256p.
- 14) 北海道水産林務部：平成11年～13年度日本海ニシン資源増大プロジェクト報告書。2003，258p.
- 15) 北海道水産林務部：平成14年～16年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書。2006，233p.
- 16) 北海道水産林務部：ニシンの資源管理対策調査。平成17年～19年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書。2009，138p.
- 17) Hay, D. E. : Reproductive biology of Pacific herring (*Clupea harengus pallasii*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42 (Suppl. 1), 111-126 (1985)
- 18) 高柳志朗, 石田良太郎：石狩湾系ニシンの繁殖特性。北水試研報。61, 79-89 (2002)
- 19) Watanabe, Y. ,Dingsor, G. E., Tian, Y., Tanaka, I. and Stenseth, N. C. : Determinant of mean length at age spring spawning herring off the coast of Hokkaido, *Japan. Mar. Ecol. Prog. Ser.* 366, 209-217 (2008)
- 20) 福士暁彦, 佐藤暁之, 高柳志朗：ニシン親魚の体成分分析。平成17年～19年度日本海ニシン資源増大プロジェクト報告書。北海道水産林務部。119-123 (2009)
- 21) 高柳志朗・石田良太郎・佐々木正義：石狩湾ニシンの生態と資源変動。月刊海洋Vol.33, No.4(通巻370号),
- 22) 檜山義明：“4. 対馬暖流域での回遊範囲と成長速度”。マイワシの資源変動と生態変化。水産学シリーズ119。(渡邊良朗・和田時夫編), 東京, 恒星社厚生閣, 1998. 35-44.