

## 石狩湾系ニシンにおける刺し網の網目選択性と資源管理効果

星野 昇\*

北海道立総合研究機構中央水産試験場

Gill net selectivity and the effectiveness of resource management for Pacific herring (*Clupea pallasii*) in Ishikari Bay

NOBORU HOSHINO\*

Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan

Experimental gill net fishing was performed at the end of the fishing seasons in 2015–2017 to ascertain the characteristics of Pacific herring (*Clupea pallasii*) stocks in the coastal waters of Ishikari Bay. Samples collected using gill nets with different mesh sizes were mostly composed of 2- and 3-year-old mature fish. Gill net selectivity was estimated based on direct estimation and the SELECT method. Using Akaike information criterion, a log-normal model was selected as the best-fitted selectivity curve. The modes of the selectivity curves were estimated to be 243, 269, 296, and 323 mm fork lengths for the popular mesh sizes, 55, 61, 67, and 73 mm, respectively.

Catching efficiencies of gill nets with a 61 mm mesh size, which is the lower limit for mesh size as per recent fishing regulations, were estimated to be 5% and 65% for the 2- and 3-year-old fish, respectively. These results suggest that the recent fishing regulations have considerably enhanced the spawning biomass of Pacific herring.

キーワード：SELECTモデル，網目選択性，石狩湾，刺し網，ニシン，マスターカーブ

太平洋ニシン (Pacific herring: *Clupea pallasii*) は北太平洋沿岸に広く分布する (田中, 2003)。北海道では古くから春季に産卵のため沿岸域に来遊したニシンを対象とした漁業が栄え、19世紀末には約100万トンの漁獲を記録したが、20世紀半ばにかけ来遊量が大きく減少した (田中, 2003)。一方、1990年代後半から、石狩湾沿岸域を主産卵場とするニシンの資源量が増加し、2008年以降は1~2千トンの漁獲量が続くようになった (Fig.1)。このニシン資源は「石狩湾系ニシン」とよばれ、かつて大規模に漁獲されていたニシン資源とは集団遺伝学的特性の異なる地域集団であることが明らかとなっている (小林ら, 1990)。

石狩湾系ニシンの漁獲量の90%以上は、沿岸に産卵のため来遊したところを刺し網によって漁獲されたもので占められている。沿岸への来遊は1月上旬に始まり、初めは6歳以上の高齢・大型の個体が来遊し1月下旬には産卵が始まる。2月には5歳群、4歳群と次第に来遊群が若

齢・小型化していき、3月には3歳群、3月下旬から4月には初成熟齢である2歳群が来遊し産卵を行う (星野,

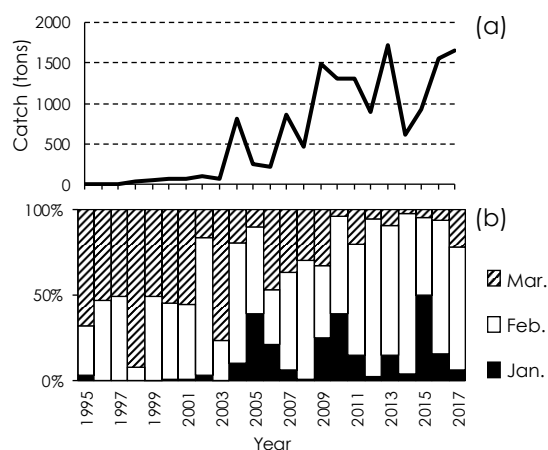


Fig.1 Annual changes in Pacific herring catch (a) and the ratio by month (b) in Ishikari Bay.

2017)。そのため、刺し網漁業では来遊群の年齢・サイズ組成に応じて、段階的に小さな目合の刺し網に切り替えて操業する。また、若齢魚の保護を目的として、目合2.0寸（網目内径約60mm）未満の刺し網の使用禁止と、3月25日以降の禁漁等の資源管理策が実践されている（星野昇・田園大樹: <http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/> (2017) (2017.7.13)。資源量の増加は、このような資源管理の取組や卓越年級群の断続的な加入によるところが大きい（山口ら, 2010）。

資源増大に伴い高齢・大型魚の来遊量が著しく増加した一方で、2~3歳の若齢群が来遊する3月以降の漁獲が2010年頃から低調で推移するようになった（Fig.1）。その背景には、高齢・大型資源の増加にともない3歳以下のニシンが来遊する3月以降にも、比較的大きな目合の刺し網を用いて4歳以上を狙う操業が増えたことや、3歳までの成長量が低下し、2.0寸以上の網に3歳以下のニシンが漁獲されにくくなってきた可能性がある。しかし、操業では2.0寸より小さい目合の刺し網が使用できないため、来遊がありながらも網にかかりにくい状態なのか、産卵場や産卵時期の変化により来遊量そのものが少なくなったのか、明確にはわかっていない。

以上のような、来遊群の年齢・サイズ組成に応じた適正目合の営漁指導、網目規制による資源管理効果、漁獲できるサイズ範囲等を定量的に評価するには、主要漁具である刺し網の網目選択性に関する情報が必要であるが、これについては研究されていない。

そこで、2015~2017年の3か年に、2.0寸目以上の刺し網にくわえ1.6、1.8寸目合の刺し網を用いた比較採集試験を行い、漁期終盤に来遊する若齢魚を主体とした資源の年齢・尾叉長組成の把握、それらのデータを用いた網目選択性（選択性曲線）の推定、各年齢の最適目合と資源管理効果の検討を目的として本研究を行った。

## 試料及び方法

**漁獲調査** 2015、2016、2017年の漁期終了時期である3月末から4月初めに、石狩湾北西の沿岸域（Fig.2）の水深10~20mに、目合の異なる刺し網を複数敷設し、ニシンの漁獲調査を行った。この調査海域一帯には石狩湾系ニシンの産卵場が断続的に分布していることが知られている（干川ら, 2002）。使用した刺し網は目合1.6、1.8、2.0、2.2、2.3寸を基本として、正午前に漁具を設置し翌日の午前7時頃に回収した。1放しの刺し網はすべて同じ目合で、長さは300間（約455m）で統一し、漁具間で漁獲努力量が大きく変わらないようにした。資源管理方策として適性目合を提言・指導するためには、着業者が実際の

操業で用いている網目選択性と漁具間でのばらつきの程度を目合ごとに把握する必要があるため、複数の漁業者がそれぞれ操業に実用しているものを用いた。そのため網糸の太さや色、縮結、浮子と沈子のバランスなどは漁業者の経験や好みに依存しており、統一されていない。網糸はすべてナイロンモノフィラメント製で青、オレンジ色、白などが用いられた。

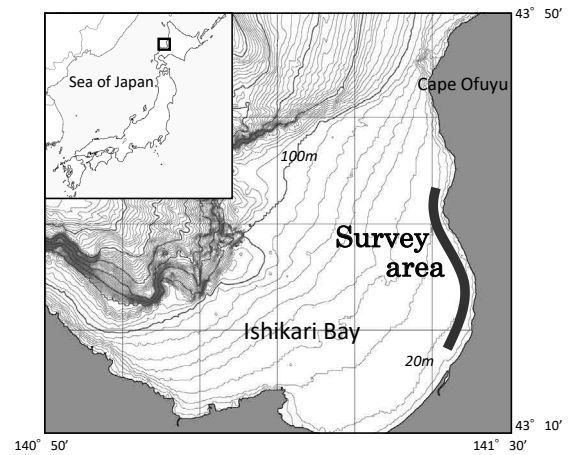


Fig.2 Location of the study area in Ishikari Bay.

漁獲されたニシンは網にかかった状態で陸揚げされ、港の荷捌き場において網から外した後、漁具ごとに目合の確認と漁獲量を計量し、その中から10kg程度を標本として無作為に抽出した。なお漁獲量が少なかった場合はすべてを標本とした。標本は生鮮状態で、尾叉長（mm）、体重・内臓除去重量（g）、生殖腺重量（0.1g）を計測し、生殖腺の外観に基づき産卵直前か産卵後もしくは未熟魚かを判断した。2017年の標本については最大胴周長（背鰭基底部の前端を通り側線と垂直に交わる位置）を計測した。また、本研究とは別目的で2017年5月に同海域において底建網で採集されたニシン産卵群について得られた、眼球中心を通る胴周長、胸鰭基部を通る胴周長、および尾叉長のデータを参考値として活用した。

全標本から耳石を摘出し実体顕微鏡を用いて輪紋から年齢を判断した。本稿での年齢表記について、例えば「3歳」の表記は産出されてからおよそ満3年が経過した個体を指し、石狩湾系ニシンの漁業関係者に「3年魚」と呼ばれている年齢を示している。なお、本研究で採集された標本の推定年齢は2~7歳であり、7歳の標本数は2015、2016年の調査でそれぞれ1、3尾とわずかであったため「6歳以上」としてまとめ、計5個の年齢群とした。

**年齢・尾叉長組成の把握** 標本の尾叉長組成には、刺し網の網目選択性が作用しているため、来遊資源の組成とは異なる。そこで、各調査年の標本の年齢・尾叉長組成

に基づき来遊資源の年齢・尾叉長組成を以下のように推定した。

尾叉長に対する漁獲効率は目合により異なるが、調査が短期間に狭い海域範囲で行われたことから、尾叉長階級ごとの年齢比が敷設された漁具間で大きく異なるとは考えにくい。そこで、同じ調査年に採集された標本の同一尾叉長階級における年齢比は目合によらず同じと仮定し、調査年ごとにすべての網で採集された標本の各尾叉長階級の年齢相対頻度、いわゆるAge-Length Key (ALK)を作成した。各年齢群の尾叉長平均値、標準偏差および年齢混合比で構成される相対混合正規分布となる。混合正規分布の各パラメータを同時推定することは、相当に多くの標本数があり、成長が速く年齢間で平均体長が大きく異なるようなケースでない限り、混合比と標準偏差を分離して推定することは難しい(赤嶺, 1985)。そこで本研究では、3歳群、4歳群、5歳群、6歳以上群の尾叉長の平均値と標準偏差を年ごとに既知パラメータとして与えることとした。

それらの値には、毎年、魚群が石狩湾に産卵回遊を始める直前の10月下旬に、石狩湾の北端に位置する雄冬岬沖合の海域 (Fig.2) で実施している試験調査船によるオッタートロール調査で採集されたニシン産卵群の全標本の尾叉長平均値および標準偏差 (Table 1) を用いた。産卵期前であるが年齢表記は上記の産卵期中の表記に準じている。この調査時期以降の体成長を確認するため、同海域で11~12月にトロール調査もしくは沖合底びき網によって採集されたニシン産卵群と比較したところ、生殖腺重量平均値の増加率は3歳群で49.3%、4歳群で23.8%、5歳群で15.3%、6歳以上群で7.9%と顕著に増加していたのに対し、尾叉長平均値ではそれぞれ1.5%、-0.5%、-1.1%、-0.5% (2005~2015各年の増加率の平均値) と、産卵期前には既に体成長が停止していたことから、3歳

Table 1 The mean fork length and standard deviations of Pacific herring caught by trawl surveys off Cape Ofuyu every year at the end of October. However, the values in 2012 were substituted by estimates from offshore fishing samples.

Year	Mean value and (standard deviation) in fork length (mm)			
	age 3	age 4	age 5	age 6 $\leq$
2008	244.6 (11.5)			
2009	256.1 (21.1)			
2010	246.4 (17.7)			
2011	248.8 (14.1)	Unused data in this study		
2012	245.0 (12.9)*			
2013	232.2 (20.2)			
2014	237.6 (11.4)	263.6 (15.2)	286.7 (13.4)	303.5 (9.5)
2015	258.1 (7.9)	277.6 (10.1)	292.7 (9.4)	315.8 (9.6)
2016	254.5 (13.3)	282.4 (10.4)	293.7 (11.0)	309.3 (12.6)

以上については10月下旬から本調査期までの期間における伸長方向の変化は無視できるものとした。

一方、初成熟年齢である2歳群については一部が成熟せず、成熟確率が体成長に依存的であることが報告されている(高柳ら, 2010)。すなわち、2歳群については、トロール調査の採集群の尾叉長組成に比べ、本研究の漁獲調査時に産卵来遊した群は尾叉長組成は大きい方に偏っている可能性があった。そこで、2歳群については、次のとおり年齢群の混合比とあわせて同時に推定した。

ある調査年において、 $a$ 歳群 ( $a=2\sim6$ ) の平均尾叉長を  $m_a$ 、標準偏差を  $d_a$ 、その調査の標本全体に占める年齢混合比を  $p_a$  (ただし  $\sum_a p_a = 1$ ) とすると、 $a$ 歳群が尾叉長階級  $l_j$  に占める割合  $g(a, l_j)$  は、

$$g(a, l_j) = \frac{p_a N(l_j; m_a, d_a)}{\sum_{a=2} p_a N(l_j; m_a, d_a)} \quad (1)$$

と表せる。 $N(l_j; m_a, d_a)$  は平均値  $m_a$ 、標準偏差  $d_a$  の正規分布における尾叉長  $l_j$  の確率を表す。尾叉長階級は10mm区切りとし、200mm台から320mm台の13階級とした。ただし、計算に際しては各尾叉長階級の中央値を代表値とした。

尾叉長階級  $l_j$  において各年齢の標本尾数  $c_{a,l_j}$  が  $c_{2,l_j} \sim c_{6,l_j}$  ( $\sum_a c_{a,l_j} = n$ ) として得られる多項分布確率  $f(a, l_j)$  は、

$$f(a, l_j) = \frac{n!}{\prod_a c_{a,l_j}!} \prod_a g(a, l_j)^{c_{a,l_j}} \quad (2)$$

となり、全ての尾叉長階級に拡張した尤度関数および対数尤度関数は、

$$L = \prod_j f(a, l_j) \quad (3)$$

$$\ln(L) = \sum_j \sum_a (c_{a,l_j} \ln(g(a, l_j))) \quad (4)$$

である。 $m_{3\sim6}$ 、 $d_{3\sim6}$  には、上記のとおり既知パラメータとしてTable 1の値を与え、 $m_2$ 、 $d_2$ 、および  $p_{2\sim6}$  の7個のパラメータを推定した。

パラメータ推定は、MS-Excelのソルバー機能を用い、初期値を制約条件のもとランダムに与えて演算を行うことを10回程度繰り返し、同一の推定値に収束するかを確認した。

#### 網目選択性曲線の推定

1. 胴周長と成熟状態との関係 ニシンのような紡錘型の形態を呈した魚類に対する刺し網の選択性は、魚体の胴周長に対する網目の内周長が直接に作用する(Hamley, 1975; 矢野ら, 2012; 佐藤ら, 2015; 佐藤ら, 2016)。

本研究で対象としたニシンは産卵期間中であることから、雌雄ともに産卵直前の個体と産卵を終えた直後の個体（一部は未成魚を含む）があった。産卵後の個体は産卵直前の個体と比べ、尾叉長に対する胴周長が明らかに小さい傾向が観察されたことから、網目選択性の推定に際しては、尾叉長と胴周長との関係を、産卵前の個体と後の個体、雄・雌とで比較した。尾叉長と胴周長との関係にアロメトリー式を仮定し、対数変換した尾叉長、産卵の前・後、雄・雌の3要素を説明変数とする一般化線形モデル（対数リンク、ガンマ誤差分布）を推定し、各変数の加除による赤池情報量基準（AIC）の変化に基づいて、各要素の胴周長に対する影響を検討した。

2. 直接推定法による網目選択性曲線の推定 目合 $g$ を持つある漁具で漁獲される尾叉長 $l_j$ の標本尾数 $c_{i,j}$ は次の一般式で表される。

$$c_{i,j} = f_i q_i S_{i,j} \lambda_j \quad (5)$$

$f_i$ は当該漁具の漁獲量全体からの標本抽出率、 $S_{i,j}$ は最大値を1とする相対漁獲効率、 $\lambda_j$ はすべての漁具に遭遇した尾叉長 $l_j$ の尾数を表す。 $q_i$ は当該漁具の相対漁獲強度で、網の長さや敷設時間などの漁獲努力量や漁具能率（単位漁獲努力あたりの漁獲効率）を内包するパラメータである。ただし、 $\sum_i q_i = 1$ である。

ここで、調査実施日（期間）に敷設された漁具すべてに遭遇した魚群の尾数を $B$ 、そのうち尾叉長階級 $l_j$ の確率を $\gamma_j$ とすると、

$$\lambda_j = B \gamma_j \quad (6)$$

であり、5式は、

$$c_{i,j} = f_i q_i S_{i,j} B \gamma_j \quad (7)$$

$q_i B$ を $\alpha_i$ としてまとめ、 $S_{i,j}$ を尾叉長に対する網目選択性曲線の関数式で書くと、

$$c_{i,j} = f_i S(i,j) \alpha_i \gamma_j \quad (8)$$

となる。 $\gamma_j$ には上記1~4式により推定済みの、尾叉長階級 $l_j$ の相対頻度、 $\gamma_j = \sum_a p_a N(l_j; m_a, d_a)$  を与える。8式に基づき、得られた採集データからスケールパラメータである $\alpha_i$ と曲線 $S(i,j)$ の形状パラメータを推定した。選択性曲線には、マサバなど紡錘形の魚に対し採用されている（矢野ら、2012）、左右対称の正規分布型曲線と非対称の対数正規分布型曲線の2つを用いた。すなわち、

$$S(i,j) = \exp\left(-\frac{(l_j - l_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (9)$$

$$S(i,j) = \exp\left(-\frac{(\ln l_j - \ln l_0)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (10)$$

$\sigma$ は曲線の横軸方向への広がりを示すパラメータ、 $l_0$ は最大値1を与える尾叉長で「最適体長」とよばれる（Hamley, 1975）。

8式より、ある目合 $g$ の漁具で尾叉長階級 $l_j$ の標本尾数が $c_{i,j}$ と得られるポアソン分布確率は、

$$\phi = \frac{(f_i S(i,j; \sigma, l_0) \alpha_i \gamma_j)^{c_{i,j}}}{c_{i,j}!} \exp\left(-f_i S(i,j; \sigma, l_0) \alpha_i \gamma_j\right) \quad (11)$$

であり、全ての尾叉長階級に拡張した尤度関数および対数尤度関数は、

$$L = \prod_j \frac{(f_i S(i,j; \sigma, l_0) \alpha_i \gamma_j)^{c_{i,j}}}{c_{i,j}!} \exp\left(-f_i S(i,j; \sigma, l_0) \alpha_i \gamma_j\right) \quad (12)$$

$$\ln L = \ln\left(\exp\left(-f_i S(i,j; \sigma, l_0) \alpha_i \gamma_j\right)\right) \sum_j c_{i,j} - \ln \prod_j c_{i,j}! - 13 \left(\exp\left(-f_i S(i,j; \sigma, l_0) \alpha_i \gamma_j\right)\right) \quad (13)$$

13式を最大にする $\sigma$ 、 $l_0$ および $\alpha_i$ を漁具ごとに推定した。

3. SELECTモデルによるマスターカーブの推定 本研究で使用のなかった目合を含め各目合の平均的な網目選択性を把握するため、SELECTモデルによりマスターカーブを推定した。SELECT法（Millar 1992; Xu and Millar, 1992）は、異なるサイズ選択性を持つ漁具の同時操業により網目選択性を推定する手法として広く活用されている。同法では、9、10式のような網目選択性曲線の形状パラメータにくわえ、5式におけるパラメータ $q_i$ 、すなわち各網に遭遇した魚群の大きさの配分比を同時推定する（西内、2001）。刺し網では、尾叉長と目合長との関係を幾何学則を仮定（Baranovの仮定（Baranov, 1914））、選択性曲線（9,10式）の変数を体長ではなく「単位目合長に対する体長」に置き換える（Kitahara, 1971）。これにより、目合を連続変量にした網目選択性曲線である「マスターカーブ」 $S(R(g, l)) (= l / g)$ となり、任意の目合値を推定されたモデルに代入することにより、調査に用いなかった目合の選択性についても推定することができる。5式より、ある調査日（期間）について、尾叉長階級 $l_j$ 、目合 $g$ のときの単位目合長に対する尾叉長を $R(i,j)$ とすると、 $l_j$ の標本尾数全体のうち目合 $g$ による漁獲割合は次式で表される。

$$\phi(R_{i,j}) = \frac{q_i S(R_{i,j})}{\sum_i q_i S(R_{i,j})} \quad (14)$$

$S(R_{i,j})$ には、9、10式の正規分布型曲線もしくは対数正

規分布型曲線を用いた。また、本研究では、6~11式の直接推定法で、 $q_i$ と相似するパラメータ $\alpha_i$ を漁具ごとに直接推定しているため、それぞれの調査年について推定された $\alpha_i$ の相対比を $q_i$ として当てはめることができる。よって、推定パラメータは網目選択性曲線の形状パラメータのみとなる。14式に基づき、各目合、各尾又長階級で採集尾数が $c_{ij}$ となる多項分布確率の対数尤度関数は、

$$\ln L = \sum_j \sum_i \left( c_{ij} \ln \left( \frac{q_i S(R_{i,j})}{\sum_i q_i S(R_{i,j})} \right) \right) \quad (15)$$

である (Fujimori and Tokai, 2001)。15式は1回の調査年に対する式であるから、これを2015~2017年の調査3回分 ( $y=1\sim 3$ ) に拡張すると、

$$\ln L = \sum_y \sum_j \sum_i \left( c_{i,j,y} \ln \left( \frac{q_{i,y} S(R_{i,j})}{\sum_i q_{i,y} S(R_{i,j})} \right) \right) \quad (16)$$

これを最大にする選択性曲線のパラメータ $\sigma$ 、 $l_0$ を推定した。対数尤度もしくは赤池情報量規準 (AIC) に基づいて二つのモデルの当てはまりを比較したうえで、推定結果の妥当性については直接推定法で得られた結果と比較することで検討した。

**各年齢の最適目合と資源管理効果** 各年齢について、目合を変化させたときの漁獲効率の変化を、その年齢の平均的な尾又長組成を用いて計算した。ただし、ある目合の最適尾又長における漁獲確率を1と仮定した。 $a$ 歳群について、目合 $g$ に対する漁獲効率 $H(g)$ は、その尾又長組成 (平均値 $m_a$ 、標準偏差 $d_a$ の正規分布 $N(m_a, d_a)$ とする) と、目合 $g$ 、尾又長 $l$ に対するマスターカーブ $S(R_{g,l})$ から、

$$H(g) = \int_0^{\infty} N(l; m_a, d_a) S(R_{g,l}) dl \quad (17)$$

である。なお、各年齢の尾又長組成の平均値と標準偏差

には、1~4式での推定と同じく、漁期前の調査船トロール調査の標本から得られた値 (Table 1) の2011~2016年の平均値を用いた。3歳群については、17式より2.0寸目 ( $H(2.0)$ ) に対する漁獲効率を2009年以降の年ごとに求め、2017年までの経年変化を調べた。

## 結果

**年齢・尾又長組成の把握** いずれの調査年においても2,000尾以上のニシンが漁獲された (Table 2)。2015、2016年調査では1.6寸による漁獲が比較的多かったが、2017年調査では1.6寸目合での漁獲は少なく2.0寸目合で最も多く採集された (Table 2, Fig. 3)。なお2017年に、標本採集作業の際に使用目合を直接確認することのできなかった漁具が1件あった。この漁具の標本データについては、年齢・尾又長組成の推定には影響がないため活用して、網目選択性の推定には用いないこととした。

推定された年齢混合比と、推定に用いた各年齢の尾又長平均値および標準偏差に基づいて来遊群の年齢・尾又長組成を描くと、いずれの調査年においても尾又長220~230mmにモードのある2歳群と、240~250mmにモードのある3歳群の来遊が相対的に多かった (Fig. 4)。6歳以上の高齢魚の占める割合は小さかったが、2015年と2017年は5歳群、2016年は4歳群の来遊も比較的多かった。

### 網目選択性曲線の推定

1. 胴周長と成熟状態との関係 胴周長に対し説明変数を、(尾又長、雌雄、産卵前後)、(尾又長と雌雄)、(尾又長と産卵前後) とした3種類の一般化線形モデルを推定したところ、それぞれのAICは3,197、3,445、3,219となり、胴周長には、尾又長だけではなく性別や産卵 (放精) したか否かが有意な決定要素となっていた。産卵前の個体データのみで胴周長に対する雌雄の影響を解析し

Table 2 Number of Pacific herring in Ishikari Bay caught using gill nets at the end of the fishing seasons in 2015–2017.

Mesh size sun* mm	Gear number	Sampling date	10 Apr. 2015					23 Mar. 2016					28 Mar. 2017 4 Apr. 2017					
			Age	2	3	4	5	6≤	2	3	4	5	6≤	2	3	4	5	6≤
1.6	48.5	1					1	790	133	48			37	60	7	5		
				804	973	211	85	42	445	40	10		21	49	4		1	
1.8	54.5	1	231	332	81	30		233	115	31			44	107	6	6	3	
					70	22	5		1				10	58	5	2		
2	60.6	1		5	2	1		4	53	61	5			89	16	13		
				125	134	134	9		61	61	6	1		38	14	8		
														53	583	124	106	
2.2	66.7	1		1	4	11	6	83	221	28	24			1				
2.3	69.7	1												25	71	50	13	
Unidentified		1												73	341	41	8	8

\*Japanese traditional unit of length (1sun=30.30mm)

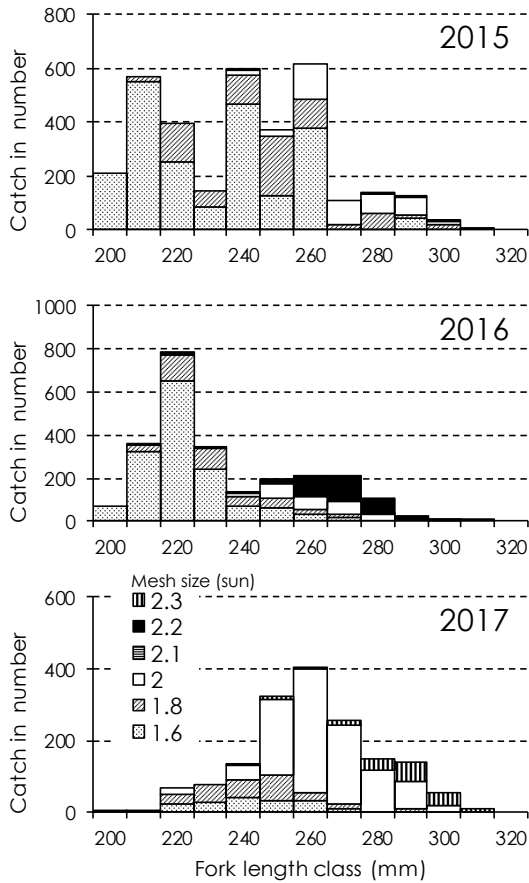


Fig.3 Length frequency distributions of Pacific herring for each mesh size in the gillnetting experiments.

AICで比較したところ、胴周長は雄に比べて雌の方が大きかった (Fig.5)。なお、産卵後の個体データのみでは雌雄間に胴周長の違いはなかった (Fig.5)。これらの結果から、産卵親魚を対象とした刺し網の網目選択性は、産卵・放精の前か後かで異なると考えられた。産卵後の個体は市場では「ヌケ」と称され出荷されるが、漁獲量全体に占める割合は著しく少なく、これは、ニシンが産卵後に沿岸漁場を速やかに離れるためと考えられる。また、産卵前個体の胴周長の雌雄差については、産卵来遊時期が雌雄で異なる、あるいは、各年齢時の体サイズに雌雄差があるような種では、資源管理方策として適正目合を提言・指導する際、雌雄ごとの網目選択性を把握する意義があるが、本資源でそれらの生態的特徴は認められていない。くわえて、成熟進行の程度によっても胴周長の雌雄差の傾向は変化する可能性が大きく、本研究のデータのみで網目選択性の雌雄差を論じることはできない。以上の観点から、本研究では、産卵前個体のデータのみを対象とし、雌雄は区別せずに網目選択性の解析と検討を行った。

2. 直接推定による網目選択性の推定 供試標本 (Table 2) のうち、産卵前個体が10尾以下の漁具につい

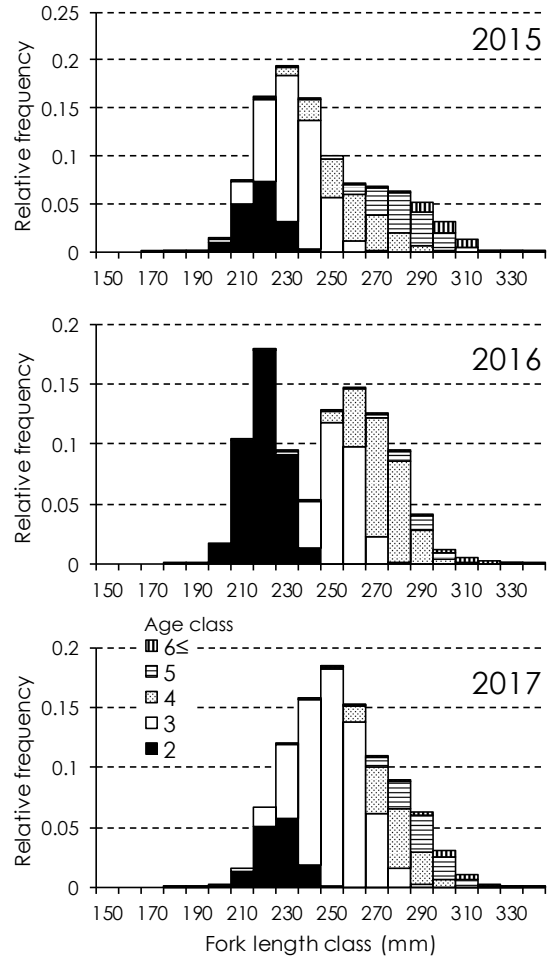


Fig.4 Estimated annual length/age compositions of Pacific herring stock at the end of the fishing season.

てはデータ数が不十分と考え網目選択性を推定しなかった。また、2016年1.6寸目合の漁具番号2, 2017年1.6寸目合の漁具番号1についてはソルバー計算による最適解が求まらず推定ができなかった。その結果、計12漁具について網目選択性が推定され、それぞれのパラメータ推定値と対数尤度 (MLL), AIC, Deviance (逸脱度) およびその $\chi$ 自乗分布の確率 ( $p$ ) はTable 3のとおりであった。 $l_0$ すなわち相対漁獲効率が1となる最適尾又長について、1.6寸目合で228~229mm, 1.8寸目合では236~248mm, 2.0寸目合では263mm~278mm, 2.2および2.3寸目合では294mm以上と推定された。正規分布型と対数正規分布型の推定値に対するAICには顕著な差がなかったが、12漁具のうち8漁具で対数正規分布型の方がAICは小さくなった。各漁具へ遭遇した個体数を反映する $\alpha$ の推定値は約2~9倍の幅で推定され、短期間かつ狭い海域においても、敷設された漁具に対する魚群の遭遇量は大きく異なった。

3.SELECTモデルによるマスターカーブの推定 SELECTモデルの配分比に用いる $\alpha$ の値を推定できた12

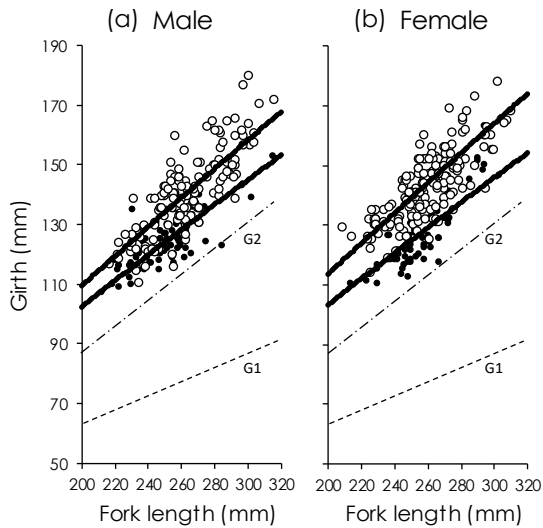


Fig.5 Relationships between fork length and body girth of (a) male and (b) female Pacific herrings. Opened and closed circles show pre- and post-spawning individuals, respectively. Bold lines show each GLM model. G1 and G2 lines show the relationships between fork length and girth across the vertical eye diameter and girth behind the gill-cover (estimated based on other samples).

漁具 (Table 3) の標本データを用いてマスターカーブを推定した。なお、2015年実施の1.8寸目合の漁具についてはp値が小さく、観測値への適合が十分ではなかったが (Table 3), 曲線の形状パラメータではない $\alpha$ の値は概ね妥当に推定されたものと考え、マスターカーブの推定に用いた。正規分布型と対数正規分布型のマスターカーブ推定値に対するAICは、それぞれ364.2, 356.8となり、直接推定法による傾向と同じく対数正規分布型の当てはまりがよかった。対数正規分布型の推定パラメータと、それらに基づき、操業で用いられることの多い目合と各尾又長階級の代表値から計算される相対効率の値をTable 4に示す。また、対数正規分布型マスターカーブの曲線形状と、直接推定法 (Table 3) による網目選択性曲線 (対数正規分布型) の形状をFig.6に示す。最適尾又長は、直接推定法による選択性曲線とマスターカーブで目合ごとにそれぞれ近い値で推定されたが、曲線の開き ( $\sigma$ ) については網間で比較的ばらついて推定された。1.8, 2.0, 2.2, 2.3, 2.4寸目に対する対数正規分布型のマスターカーブによる最適尾又長は、それぞれ243, 269, 296, 310, 323mmと推定された。

Table 3 Estimates of the selectivity curve parameters for each mesh size. The upper and lower values show the estimates from normal and log-normal distribution models, respectively.

Mesh size	Gear	Sampling date	10 Apr. 2015								23 Mar. 2016				28 Mar. 2017 4 Apr. 2017								
			number	Estimate s	$\alpha$	$l_0$	$\sigma$	MLL	AIC	Devi- ance	$p$	$\alpha$	$l_0$	$\sigma$	MLL	AIC	Devi- ance	$p$	$\alpha$	$l_0$	$\sigma$	MLL	AIC
1.6	48.5	1	#1								22818.9 229.0 14.78 -15.8 35.5 2.8 0.98				#2								
			#1								23255.4 228.4 0.1 -15.4 34.8 2.1 0.99				#1								
1.8	54.5	1	7463.9	248.2	23.33	-25.0	54.0	25.3	0.00	9661.9	237.7	13.95	-18.5	41.1	7.4	0.69	2763.2	236.5	21.98	-17.1	38.2	9.3	0.51
			7410.4	246.4	0.1	-25.2	54.4	25.7	0.00	9873.0	236.8	0.1	-17.7	39.5	5.8	0.83	2837.7	236.7	0.1	-16.9	37.8	8.9	0.54
		2	#1								#1				#1								
			#1								2549.9 264.3 16.84 -19.7 43.5 7.9 0.64				2372.0 268.8 15.54 -13.8 31.5 5.7 0.84								
		1	#1								2513.5 263.1 0.1 -19.9 43.7 8.1 0.62				2345.3 267.8 0.1 -13.6 31.2 5.4 0.86								
			16887.9 278.0 13.99 -15.7 35.3 7.5 0.68								2855.4 271.2 16.15 -18.4 40.8 7.5 0.68				1034.8 265.0 13.50 -11.8 27.6 4.7 0.91								
		2	16637.8 277.1 0.1 -15.3 34.7 6.8 0.75								2818.8 270.2 0.1 -17.7 39.3 6.0 0.82				1028.2 264.1 0.1 -11.7 27.4 4.5 0.92								
			18472.1 273.9 15.45 -16.7 37.4 9.7 0.47								17898.0 273.2 0.1 -17.1 38.2 10.5 0.40												
		3									10355.8 294.6 23.63 -23.1 50.2 12.6 0.25				#1								
			10032.8 294.8 0.1 -22.6 49.2 11.5 0.32												11186.2 317.5 21.92 -17.4 38.8 13.0 0.22								
2.2	66.7	1									13048.7 327.3 0.1 -17.8 39.6 13.9 0.18												
2.3	69.7	1																					

\*Japanese traditional unit of length (1sun=30.30mm)

Table 4 The relative efficiency of fork lengths estimated by a log-normal master curve.

$$S(l/m) = \exp(-(\ln l - \ln R_0)^2 / 2\sigma^2) \quad R_0=44.47, \sigma=0.07$$

Mesh size	sun*	mm	l =Fork length (mm)														
			205	215	225	235	245	255	265	275	285	295	305	315	325	335	345
1.6	48.5	0.786	<b>0.999</b>	0.840	0.493	0.211	0.068	0.017	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1.8	54.5	0.068	0.251	0.585	0.910	<b>0.990</b>	0.787	0.474	0.223	0.084	0.026	0.007	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
2	60.6	0.001	0.008	0.045	0.168	0.422	0.748	<b>0.974</b>	0.962	0.742	0.459	0.232	0.098	0.035	0.011	0.003	0.003
2.1	63.6	0.000	0.001	0.007	0.038	0.139	0.357	0.664	0.926	<b>0.995</b>	0.847	0.585	0.334	0.161	0.066	0.024	0.024
2.2	66.7	0.000	0.000	0.001	0.006	0.032	0.116	0.302	0.585	0.863	<b>0.998</b>	0.926	0.704	0.447	0.241	0.112	0.112
2.3	69.7	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.027	0.097	0.257	0.513	0.794	<b>0.976</b>	0.975	0.806	0.561	0.334	0.334
2.4	72.7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.005	0.023	0.082	0.219	0.448	0.722	0.937	<b>0.998</b>	0.888	0.671	0.671

\*Japanese traditional unit of length (1sun=30.30mm)

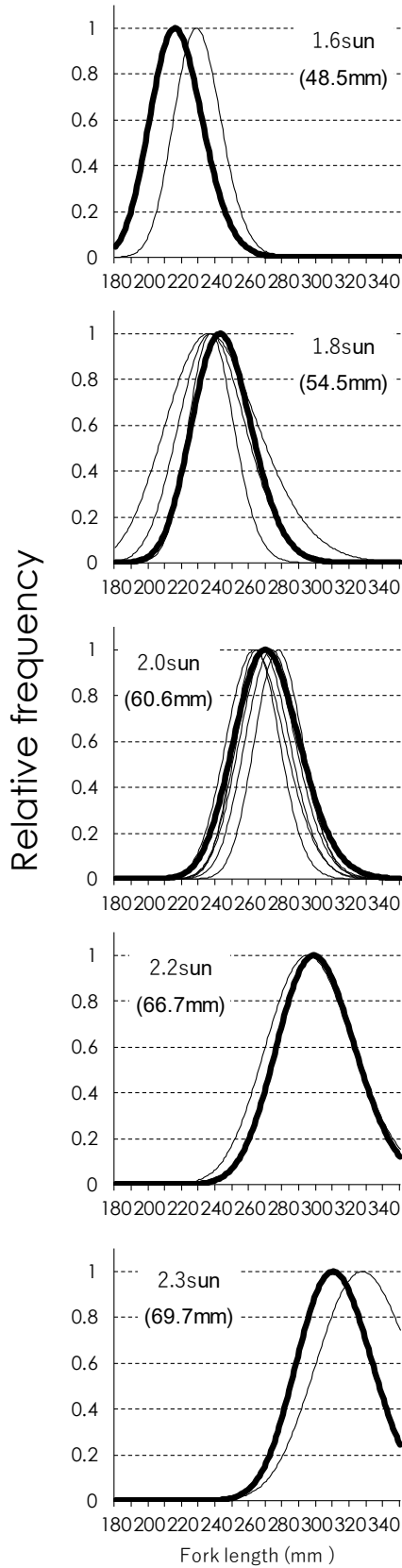


Fig. 6 Size selectivity curves for each mesh size estimated using direct estimation (narrow lines) and the master curve (bold line).

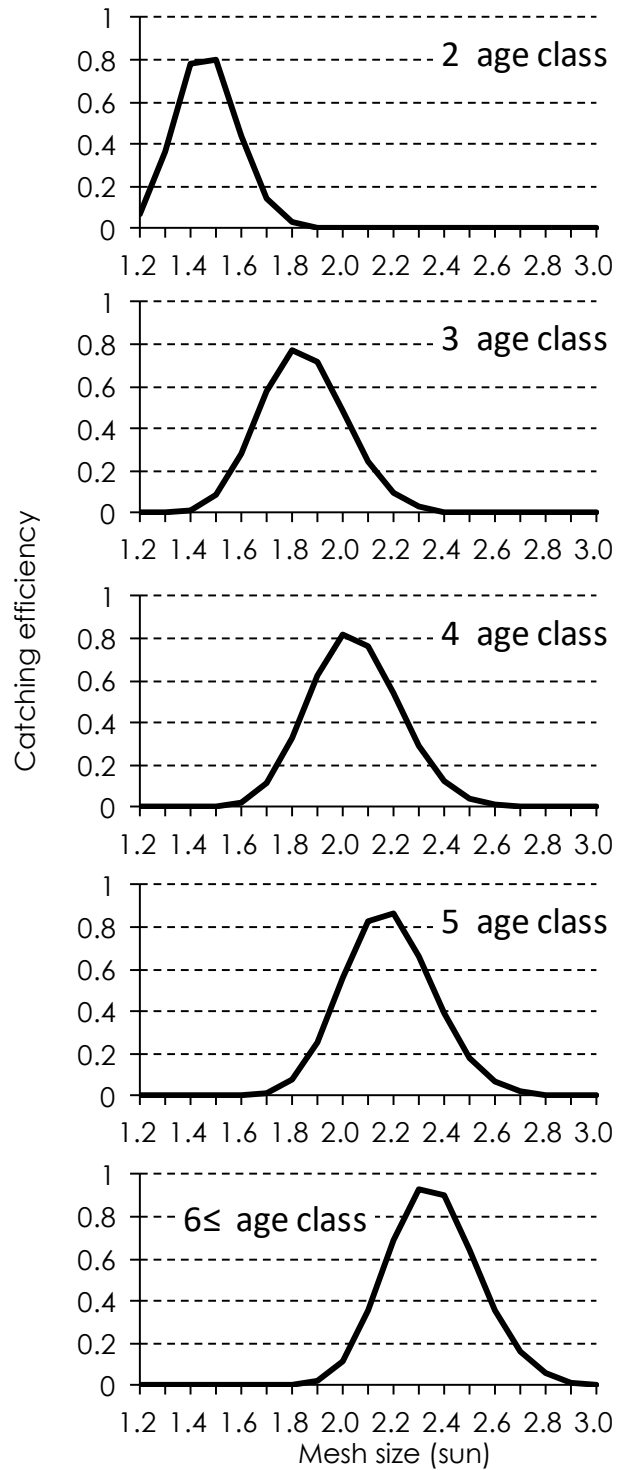


Fig. 7 Changes in catching efficiency with changes in gill net mesh size for each age class.

各年齢の最適目合と資源管理効果 対数正規分布型マスターカーブによる、2～6歳以上の5年齢群ごとの目合に対する漁獲効率は、それぞれ1.5、1.8、2.0、2.2、2.3寸目で最大となった(Fig. 7)。2009年以降の3歳群に対する2.0寸目合の漁獲効率は、尾叉長の変化傾向と類似して推移し、2014年にかけて0.6前後から0.3以下にまで漸減したが、



2016, 2017年は一転して高い値となった (Fig.8)。

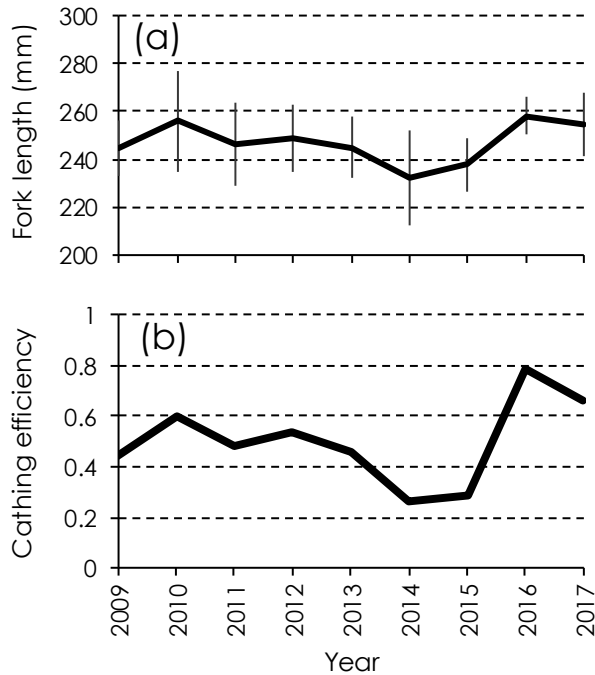


Fig.8 Annual changes in the fork length of the 3-year-old mature fish (a) and the catching efficiency of the 61 mm mesh size gill net for the 3-year-old fish (b). The vertical lines show the standard deviations.

## 考 察

調査を行ったいずれの年も、尾叉長200~250mmのニシンが1.6~1.8寸を主体に漁獲された。このサイズ範囲は2歳群と3歳群構成と推定され、2.0寸以上ではあまり漁獲されていないことから、現行規制の目合下限2.0寸では漁獲の対象とならずに来遊・産卵していることが確認された。

採集物の標本組成から漁具ごとに選択性曲線を推定したところ、複数の漁具で推定値が得られた1.8, 2.0寸目合の最適尾叉長は、それぞれ近い値で推定されたものの、曲線の幅は比較的ばらついた。これは、最適尾叉長には目合が大きく作用していながらも、その目合でどの程度のサイズ範囲を漁獲対象にできるかには目合以外の要素、すなわち網糸の太さ、縮結、錘と浮子の比率などに関する着業者それぞれの判断要素が影響していることが示唆される。また、各漁具に遭遇する魚群の尾叉長組成が年ごと同一と仮定したことによる誤差も内包している。一方、SELECT法により推定されたマスターカーブは、1.8~2.2寸目では直接推定で得られた各目合の選択性曲線と大きなズレはなかった。ただし、本研究では1.6寸や2.1

寸以上の網目選択性を複数漁具で推定することができなかったため、今後、これらの目合を用いた刺し網による調査や大型・高齢魚主体で来遊する漁期前半にも漁獲調査を実施して、目合ごとのデータを蓄積していくと、最適尾叉長や漁具間のばらつき、マスターカーブをより頑健に推定できると考えられる。

Fig.5から、例えば、尾叉長275mmの雌個体の平均胴周長は約151mmとなり、Table 3から275mmを最適尾叉長とする目合は2寸 (60.6mm) 強と推定された。網目の内周長を目合の約2倍の122mmと考えると、これは平均胴周長151mmより小さく、眼球周りの胴周長 (81mm)、鰓蓋周りの胴周長 (117mm) より大きい。すなわち、ニシンが吻端から網目に入ると眼球付近、鰓蓋や胸鰭基部付近までは網目を通過するが、最大胴周長に相当する背鰭前端に至る過程で網糸が体表面に接触・伸縮し通過することができなくなる。一方、2寸目の網目径122mmに対し、胴周長122mm以下となる尾叉長は約225mm以下であり、225mmに対する2.0寸目の相対効率は0に近いと推定され (Fig.6)、ほぼ網目を通過できると考えられた。これらのことから、ニシン刺し網による羅網は典型的な「ささり型」であり、マサバ (矢野ら, 2012) やマイワシ (佐藤ら, 2015) などでも報告された、紡錘型の魚類と同様の機序に基づくと考えられる。

推定された網目選択性曲線の対数尤度やAICの値から、左右非対称の対数正規分布型の当てはまりが良かったが、曲線の外観上はほぼ左右対称で、正規分布型と大きな違いはなかった (Fig.6)。対数正規分布型の当てはまりがよいのは、200~250mmの相対的に小型のサイズ範囲に最適尾叉長がある場合、来遊群の尾叉長組成がそれより大型範囲にわたるため (Fig.3, 4)、「ささり型」の羅網機序を基本としながらも、大型魚の一部が「絡み」や「鰓がかり」で漁獲されることで、選択性曲線が尾叉長の大きいデータも網羅するように推定されたためと考えられる。今回の調査では2.4寸目など大型群が対象となる目合の直接推定をしていないが、2.4寸目で漁獲されるサイズは生物学的に上限に近いので、横軸方向に曲線が広がる対数正規分布型より正規分布型の方が当てはまりがよくなる可能性が高い。

国内でニシン資源を対象に網目選択性を推定した事例をみないが、大西洋ニシン (*Clupea harengus*) では研究事例が多い (Clarke and King, 1986; Winters and Wheeler, 1990; Poulsen et al, 2000; Hay, 1986)。推定方法は異なるが、例えば、Clarke and King (1986) では、目合5.52cm (約1.9寸) の刺し網の最適尾叉長を全長28cm (尾叉長換算では約26cm) と、Winters and Wheeler (1990) は目合6.35cm (約2.1寸) の刺し網の最適尾叉長を全長32cm (尾叉長約

29cm)と推定している。本研究のマスターカーブによる1.9寸の最適尾叉長は256mm, 2.1寸では283mmと計算され、大西洋ニシンの結果と同様の値となっている。また、選択曲線の幅は効率が大小それぞれ約0.05以下となる尾叉長の範囲が80~100mm程度で推定されており、本研究の結果と類似していた。ただし、本研究で示されたように、成熟進行の度合いによって、選択性が直接作用する胴周長が大きく変化するため、本種の網目選択性については、対象とする資源の成熟状態に関する吟味が必須であり、索餌期と産卵期とは異なる選択性曲線となると考えられる。

聞き取り調査によると、2017年時点で漁業者が用いている最も大きい目合は2.4寸目であり、近年は漁期序盤に2.4寸目合が多用されるようになった。2.4寸目の最適尾叉長、すなわち相対効率が1になるのは尾叉長約323mmと推定され、年齢別漁獲効率でもこの尾叉長に相当する6歳以上のニシンを最も効率よく漁獲できる目合は2.3~2.4寸目と推定された。すなわち、高齢群の資源量が以前より増加したため、高齢・大型群を狙った操業が増えてきた状況と考えられる。一方、資源管理策の下限目合である2.0寸の最適尾叉長は270mm前後と推定され、これは3~4歳群にかけての尾叉長に相当する。3歳魚に対する漁獲効率が最も高くなるのは1.8~1.9寸目で、2.0寸目では1.8寸目の50%程度にまで低下すると推定された(Fig.7)。すなわち、現行の管理策のもとでは、3歳群は相対的に成長の良い個体に偏って漁獲される傾向にあり、3歳群全体に対する漁獲強度は、各年級群の2歳期までの成長量に大きく依存している。これをふまえ、3歳群の2.0寸目に対する漁獲効率の年変化をみると、2009年以降は低下傾向となり2014年には2010年の44%にまで下がり、2016、2017年と急増した。この推移は、2009年以降の3歳群の平均尾叉長の変化が反映されたもので、近年、3歳群主体で来遊する漁期終盤の3月に漁獲が少なくなっていたのは、主体となる3歳群の成長低下に伴い、2.0寸目以上で漁獲される割合が減少したためと考えられる。2015年の3歳群(2012年級群)まで連続して続いた成長の低下傾向は、2016年の3歳群(2013年級群)で劇的に回復したものの、2013年級群は年級群豊度自体が少なく、2016年調査での漁獲状況と同様に漁期中も漁獲がのびなかった(星野昇・田園大樹: [\(http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/\(2017\)\)](http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/Kokai/(2017)) (2017.7.13))。一方、2017年の3歳群(2014年級群)も成長が良く、2017年調査と同様に3月の漁獲増を数年ぶりにもたらしした(Fig.2)。3月期の漁獲の多寡は、今後も3歳群の成長状態と年級群豊度に大きく依存して推移すると考えられる。3歳群の平均尾叉長が年変動する要因は定かではな

いが、石狩湾系ニシンと同所に分布するハタハタ(*Arctoscopus japonicus*)でも同様の年変動が明らかとなっており(星野, 2015)、分布域における海洋環境の変化による可能性がある。

3歳群に対する刺し網の漁獲効率の変化は、その産卵量の変化と同義である。石狩湾系ニシンでは3月以降に産出された孵化群の生残が相対的に高い傾向があると考えられており(星野, 2017)、今後の資源管理においては3歳群の成長傾向と年級群豊度を早期に把握し、必要に応じ、3月以降に使用する目合を2.1寸以上とするなど臨機応変に目合選択を行い資源水準の維持を図るといった視点を、漁業関係者で共有していくことも重要であろう。

## 謝 辞

本研究は、石狩湾漁業協同組合青年部に所属する漁業者と同組合職員、石狩地区水産技術普及指導所の菊池肇氏、岩佐睦氏と共同、協力のもとで実施した。円滑な調査と充実したデータ収集に貢献いただいた関係の皆様には厚く御礼申し上げます。また、本稿をまとめるにあたり、2名の査読者および編集者には有意義なアドバイスをいただき重ねて御礼申し上げます。

## 引用文献

- 赤嶺達郎: Polymodalな度数分布を正規分布へ分解する BASICプログラムの検討. 日水研報 1985; 35: 129-160.
- Baranov FI. The capture of fish by gillnets. *Poznoniyu Russ. Rybolov.* 1914; 3: 56-99 (partially transl. from Russian by Ricker WE).
- Clarke DR, King PE. The estimation of gillnet selection curves for Atlantic herring (*Clupea harengus* L.) using length/girth relations. *J. cons. Int. Explor. Mer.* 1986; 43: 77-82.
- Fujimori Y, Tokai T. Estimation of gillnet selectivity curve by maximum likelihood method. *Fish. Sci.* 2001; 67: 644-654.
- Hamley JM. Review of gillnet selectivity. *J. Fish. Res. Board Can.* 1975; 32(11): 1943-1969.
- Hay DE. Experimental studies of Pacific herring gillnets. *Fish. Res.* 1986; 4: 191-211.
- 干川 裕, 田嶋健一郎, 川井唯史, 桑原久実, 金田友紀. ニシン産卵床の水溫・塩分と産卵時期の推定について. 北水試研報 2002; 62: 113-118.

- 星野昇. 近年における石狩湾産ハタハタの体長変化. 北水試研報 2015; 88: 1-8.
- 星野昇. 石狩湾におけるニシン資源の変動要因. 月刊海洋 2017; 49: 357-363.
- Kitahara T. On sweeping trammel net (Kogisiasiami) fishery along coast of the Sanin district-III. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 1971; 37: 289-296.
- 小林時正, 岩田宗彦, 沼知健一. 日本の北部海域で産卵するニシン地域性集団間の遺伝的分化. 日水誌 1990; 56(7): 1045-1052.
- Millar RB. Estimating the size-selectivity of fishing gear by conditioning on the total catch. *J. Amer. Stat. Assoc.* 1992; 87: 962-968.
- 西内修一. 比較操業実験法とSELECTモデル. 「漁具の選択特性の評価と資源管理 (東海正, 北原武編)」恒星社厚生閣, 東京. 2001; 51-61.
- Poulsen SP, Nielsen JR, Holst R, Staehr KJ. An Atlantic herring (*Clupea harengus*) size selection model for experimental gill nets used in the Sound (ICES subdivision 23). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2000; 57: 1551-1561.
- 佐藤愛美, 東海正, 川端淳. マイワシに対する調査用流し網の網目選択性について. 日水誌 2015; 81(2): 290-292.
- 佐藤愛美, 東海正, 森泰雄, 中明幸広. 太平洋道東沖マサバ資源調査に適した調査用流し網における目合の組み合わせ. 日水誌 2016; 82(3): 290-297.
- 田中伸幸. ニシン. 「漁業生物図鑑 新北のさかなたち(水島敏博, 鳥澤雅監修, 上田吉幸, 前田圭司, 嶋田宏, 鷹見達也編)」北海道新聞社, 札幌. 2003; 60-65.
- Winters GH, Wheeler JP. Direct and indirect estimation of gillnet selection curves of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1990; 47: 460-470.
- Xu X, Millar RB. Estimation of trap selectivity for male snow crab (*Chionoecetes opilio*) using the SELECT modeling approach with unequal sampling effort. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1993; 50: 2485-2490.
- 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 2010; 77: 21-27.
- 矢野綾子, 東海正, 川端淳. 調査用流し網のマサバに対する選択性について. 日水誌 2012; 78(4): 681-691.