

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

山口幹人*¹, 瀧谷明朗*¹, 山口宏史*¹, 三宅博哉*², 高柳志朗*¹

The effects of stocking and fisheries management based on virtual population analysis of the Ishikari Bay herring *Clupea pallasii*

Motohito YAMAGUCHI*¹, Akio TAKIYA*¹, Hiroshi YAMAGUCHI*¹,
Hiroya MIYAKE*² and Shiro TAKAYANAGI*¹

The catch of the Ishikari Bay herring (*Clupea pallasii*) has increased to about 200 tons since 1997. Virtual population analysis (VPA) has suggested that this increase was caused by greater recruitments of 1995 and 1996 year classes due to high recruitment per spawning biomass (RPS). The RPS rose again in 2001, and the 2001 year class increased the catch to more than 1,000 tons in 2004. Stocking and fisheries management have been conducted since 1996 and 2003, respectively. The effects of these measures were estimated to be 34 tons and 1,750 tons in fisheries year 2008 from calculation using VPA parameters. It is considered that the stocking and the fisheries management contributed synergistically to this increase in the catch.

キーワード：ニシン, 石狩湾系群, プロジェクト, VPA, 種苗放流, 資源管理

まえがき

北海道では19世紀末から20世紀半ばにかけてニシン北海道・サハリン系群が多獲され、ピーク時(1897年)の北海道全体でのニシンの漁獲量は97万トンに達したもののその後減少し、1954年を最後にほとんど漁獲がみられなくなっている¹⁾。

一方、北海道西岸の石狩湾を中心に産卵する石狩湾系ニシンの漁獲量は、1996年まで100トン未満であったが、1997年に約150トンとなって以降増加し、2009年には約2,000トンに達した²⁾。同系群は1996年以降、北海道庁が進めてきた日本海ニシン資源増大プロジェクト^{3,4)}および日本海ニシン増大推進プロジェクト^{5,6)}(以下、ニシン・プロジェクト)の対象となり、種苗放流や漁業管理が実施されたことから、それらの効果推定が求められている。

魚類の種苗放流効果については、放流魚の回収率や費用対効果を中心に、サワラ⁷⁾、ヤヒラメ^{8,9)}、トラフグ¹⁰⁾など多くの報告がなされている。しかし、ニシン・プロジェクトでは資源の維持、増大を目的としており、放流魚の産卵参加による資源増大効果も含めた効果判定が必要であった。これについては西田¹¹⁾が試算しているが、計算是2005年までにとどまり、近年の資源の極大期に及んでいない。一方、漁業管理効果については、多くの研究が管理条件別の管理効果の試算を中心に進められており¹²⁾、実際に実施された管理の効果の試算は少ない³⁾。

今回、年度別の年齢別漁獲尾数を基にしたVPA(virtual population analysis)を実施し、資源量の増加状況を把握した。同時に、VPAで得たパラメータを使用した前進計算によって、放流魚の産卵参加による資源増大まで含めた効果、および実施済みの漁業管理の効果を試算したので報告する。

報文番号 A448 (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, Yoichi, Hokkaido, 046-8555, Japan)

*2 北海道立栽培水産試験場 (Hokkaido Mariculture Fisheries Experiment Station, Funami-cho, Muroran, Hokkaido, 051-0013, Japan)

*3: 石狩湾系群ニシンの管理効果の検証 (三宅博哉: 未発表)

材料及び方法

年齢別漁獲尾数の推定

1995~2007漁期年度(5月~翌年4月:以下,年度)の年齢別漁獲尾数としてニシン・プロジェクト報告書¹³⁾の数値を用いた。また2008年度の年齢別漁獲尾数については,地域別,漁業種類別,時期別に採集した標本の年齢別尾数を,漁獲量で引き延ばして算出した。その際,石狩・後志支庁管内では耳石輪紋観察より年齢を査定し,留萌・宗谷支庁管内ではAge-length keyから年齢別尾数を推定した。

資源解析

VPAによって1995~2008年度の年齢別資源尾数を推定した。なお,満1歳以降の自然死亡係数は,ニシンの寿命を7年と仮定し,田内・田中の方法¹⁴⁾から $M=0.36$ とした。また,最近年の漁獲死亡係数 F を過去3年度の平均値とし,最高齢(2004年度までは4歳以上,2005年度以降は5歳以上のプラスグループ)の F について最高齢-1歳の F と等しいと仮定し,最近年,最高齢の F をこの仮定を満たすように求めた。さらに最高齢-1歳以下の資源尾数を(1)式から,最高齢と最近年度の資源尾数を(2)式から計算し,漁獲死亡係数は(3)式から求めた。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \cdot e^M + C_{a,y} \cdot e^M \quad (1)$$

$$N_{a,y} = \frac{C_{a,y}}{1 - e^{-F_{a,y}}} \cdot e^M \quad (2)$$

$$F_{a,y} = \ln \frac{N_{a,y}}{N_{a+1,y+1}} - M \quad (3)$$

ここで, a は年齢階級, y は年度を表す。 N は資源尾数, C は漁獲尾数, M は自然死亡係数, F は漁獲死亡係数を表す。

なお, RPS を(4)式から求めるにあたって,2歳の成熟率 $Mr_{2,y}$ は,1998~2005年度の満2歳については高柳ほか¹⁵⁾に従い,2006~2008年度の満2歳については別途調査より推定した(Table 1)。また1996,1997年度の満2歳および全ての年度の3歳以上の成熟率については100%とした。

$$RPS_{y-1} = \frac{N_{1,y}}{\sum_{a=2}^{\max} (N_{a,y-1} \cdot W_a \cdot Mr_{a,y-1})} \quad (4)$$

ここで, RPS は産卵親魚重量(kg)あたりの加入尾数

Table 1 Retio of mature individuals at 2 years old.

Fisheries year	Retio of mature individuals (%)
y	$Mr_{2,y}$
1996	100
1997	100
1998	100
1999	92
2000	89
2001	100
2002	88
2003	27
2004	100
2005	79
2006	66
2007	27
2008	18

Table 2 Body weight at each age.

Age	Weight (g)
a	W_a
1	17.3
2	124.4
3	212.9
4	276.3
5	349.3
6	399.6

Table 3 Stocking in terms of number and retio of survival up to 1 year old.

Fisheries year	Stocking in terms of number	Retio of survival up to 1 years old (%)
y	$Ns_{1,0,y}$	Sr_y
1996	160,877	6.56
1997	494,200	2.40
1998	1,444,474	0.18
1999	2,078,400	1.57
2000	827,656	2.74
2001	1,358,600	3.00
2002	1,381,175	0.34
2003	2,141,842	1.08
2004	2,684,283	2.23 *
2005	2,603,191	2.23 *
2006	1,985,569	2.23 *
2007	2,155,272	2.23 *

*Average from 1996 to 2003

(年度初めの1歳の資源尾数), W は年齢別体重 (Table 2), Mr は成熟率を表す。

$$Cs_{a,y} = \sum_{g=1}^6 (Ns_{g,a,y} \cdot (1 - e^{-F}) \cdot e^{-M}) \quad (9)$$

放流魚由来の資源尾数および漁獲量の試算

放流されたニシンを第1世代とし, その子を第2世代, 孫を第3世代として, 各世代の満1歳で加入した後の資源尾数を計算した。なお石狩湾系ニシンは早ければ, 生後2年で成熟するため, 1996年度に放流された第1世代の子孫は2006年度に第6世代が誕生し2007年度に加入することから, 最大世代数を6とした。

まず1996年度以降の放流尾数 $Ns_{1,0,y}$ に, 放流から加入(満1歳時点)までの生残率 Sr_y^{16} を乗じて, 各年の放流種苗の翌年における加入尾数を求めた(5式)。なお2004年度以降に放流された種苗については生残率が未確定なため, 1996~2003年度までの平均値である2.23%を一律に代入した (Table 3)。

$$Ns_{1,1,y} = Ns_{1,0,y-1} \cdot Sr_{y-1} \quad (5)$$

ここで, Ns は放流由来の資源尾数, Sr は放流から加入までの生残率, g は世代, a は年齢階級, y は年度を表す。

次に各年度の加入尾数に対してVPAで求められた各年度各年齢に対する $F_{a,y}$ を使用し, (6)式によってその後の各年度の放流由来の資源尾数($g=1, a>1$)を前述の最高齢まで計算した。

$$Ns_{g,a,y} = Ns_{g,a-1,y-1} \cdot e^{-(F_{a-1,y-1} + M)} \quad (6)$$

さらに放流魚の子孫の各年度の加入尾数($2 \leq g \leq 6$)を世代ごとに第6世代まで(7)式によって求めた。この計算では, 前世代の産卵親魚重量にVPAで求めた RPS を乗じた。さらに, それを基に前進計算によって, 各世代のその後の資源尾数を第1世代(放流魚)と同様に計算し(6式), 資源尾数に体重をかけて世代別, 年度別の放流由来の資源重量 Bs を求めた(8式)。

$$Ns_{g,1,y} = \left(\sum_{a=2}^{\max} Ns_{g-1,a,y-1} \cdot W_a \cdot Mr_{a,y-1} \right) \cdot RPS_{y-1} \quad (7)$$

$$Bs_{g,y} = \sum_{a=1}^{\max} (Ns_{g,a,y} \cdot W_a) \quad (8)$$

加えて, 第1から第6世代の資源尾数から, (9)式により放流に由来する全漁獲尾数を計算し, さらに年度別の漁獲重量(10式)を求めた。なお漁獲重量については, 漁獲が年度末に集中しているため, 体重は1歳上の値を用いて計算した(10, 11, 15式)。

$$Ys_y = \sum_{a=1}^{\max} (Cs_{a,y} \cdot W_{a+1}) \quad (10)$$

ここで Cs は放流由来の漁獲尾数, Ys は放流由来の漁獲重量である。

漁業管理効果の試算

ニシン・プロジェクトでは, YPR解析から漁獲開始年齢を満2歳とした場合に漁獲量漁獲金額ともに最大となる結果が得られている^{13, 17)}。漁獲開始年齢を満2歳とするため, 主漁業である刺し網漁業の網目合を2.0寸以上とし, さらに漁期を早期に切り上げる漁業管理を提案した。この管理方策は, 2002年度より徐々に石狩湾海域を中心として自主的に導入されている⁶⁾。後述するように1歳魚に対する漁獲死亡係数 $F_{1,y}$ は2002年度に低下していることから, 2002年度以降に管理を行った場合と行わなかった場合の漁獲量を三宅^{*3)}に従い, 以下のように計算した。

まず現実に沿った状況, すなわち2001年度以前は管理せず, 2002年度以降に管理をした場合の漁獲重量 Yr を, VPAに用いた漁獲尾数 C から(11)式に従って算出した。

$$Yr_y = \sum_{a=1}^{\max} (C_{a,y} \cdot W_{a+1}) \quad (11)$$

一方, 2002年度以降に管理を実施しなかった場合の資源尾数と漁獲量を以下のように計算した。まず2002年度以降の1歳魚に対する $F_{1,y}$ を漁業管理実施前の1995~2001年度の平均値とし, 資源尾数を前進計算によって求めた(12式)。その際, 2003年度以降の加入尾数は産卵親魚量および RPS , 2歳の成熟率 Mr から(13)式によって求めた。さらに漁獲尾数, 漁獲重量を(14), (15)式から計算した。

$$Nnr_{a,y} = Nnr_{a-1,y-1} \cdot e^{-(F_{a-1,y-1} + M)} \quad (12)$$

$$Nnr_{1,y} = \left(\sum_{a=2}^{\max} Nnr_{a,y-1} \cdot W_a \cdot Mr_{a,y-1} \right) \cdot RPS_{y-1} \quad (13)$$

$$Cnr_{a,y} = Nnr_{a,y} \cdot (1 - e^{-F_{a,y}}) \cdot e^{-M_{a,y}} \quad (14)$$

$$Ynr_y = \sum_{a=1}^{\max} (Cnr_{a,y} \cdot W_{a+1}) \quad (15)$$

ここで, Nnr , Cnr および Ynr は, 2002年度以降に管理

をしなかった場合の資源尾数, 漁獲尾数および漁獲重量である。

結果

年齢別漁獲尾数とVPA

年齢別漁獲尾数の推定値をFig.1に, VPAから推定された年齢別資源尾数と漁獲係数 F をFig. 2, 3にそれぞれ示した。

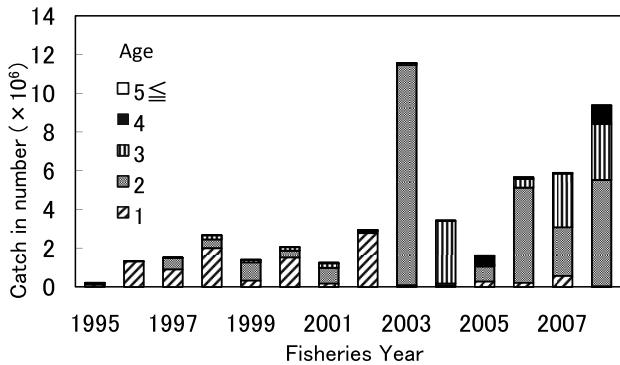


Fig.1 Estimated catch for each age from fisheries year 1995 to 2008.

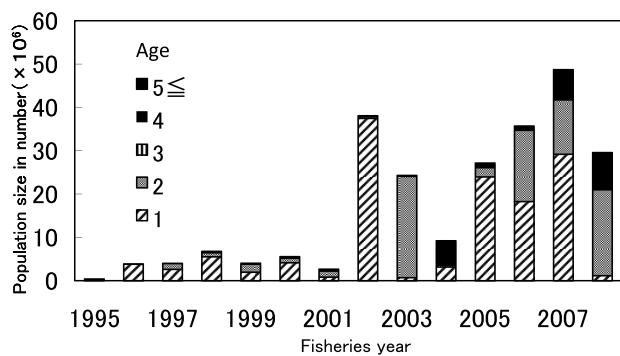


Fig.2 Population numbers for each age from fisheries year 1995 to 2008.

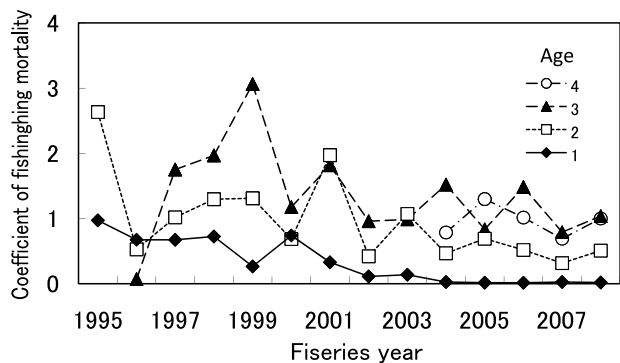


Fig.3 Coefficient of fishing mortality at each age from fisheries year 1995 to 2008.

2002年度までは, 1歳の漁獲が最も多く3歳以上の漁獲はほとんどみられていなかったが, 2003年度以降2歳以上の漁獲が多くを占めるようになった。この変化の契機は2001年に豊度が高い年級群が発生したことである。一方, 1歳魚に対する漁獲死亡係数は1995~2001年度には0.265~0.972であったものが, 2002年度に0.112, 2003年度には0.137と低下し, 2004年度以降は0.015~0.027で推移している。このように2002年度以降, 1歳への漁獲圧が低下し漁獲開始年齢が基本的に2歳となっていることから, 近年漁獲物が高齢化している。

次に, 加入尾数 (=年級豊度), その年級を生み出した産卵親魚量およびRPSをFig. 4に示した。1995, 1996年度には産卵親魚量はそれぞれ22.5トンと9.0トンと少なかったにもかかわらず, 加入尾数は380万尾と260万尾に達した。この2年度のRPSは170尾/kgおよび290尾/kgと他の年に比べ高くなった。また, 2001年度の産卵親魚量は272トンであり, それ以前の4年間(1997~2000年度)とほとんど差がなかったが, 加入尾数は3,700万尾を超え, RPSも138尾/kgに達した。

放流魚由来の資源尾数, 資源重量および漁獲量

放流事業に由来する各世代の資源尾数をFig. 5に示した。1996年度放流群が1997年度に加入して以降, 2001年度までは放流尾数の増加に伴って第1世代の資源尾数が増加した。2002年度には, 2001年度におけるRPSが高かったことから, 第2, 第3世代の加入が多くなった。その後は増減を繰り返しながらも基本的に放流に由来する

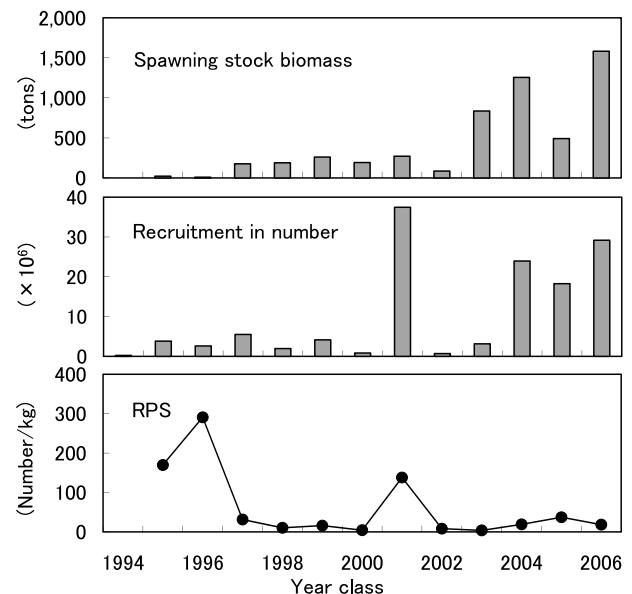


Fig.4 Spawning stock biomass (upper), recruitment in number (middle) and RPS (lower) for each year class.

資源尾数は増加し、2007年度には70万尾を超えた。

Fig. 6と7に放流魚（第1世代）およびその子孫（第2～6世代）の資源重量と漁獲重量を示した。資源重量は資源尾数と同様に世代が積み重なるに従って増加し、

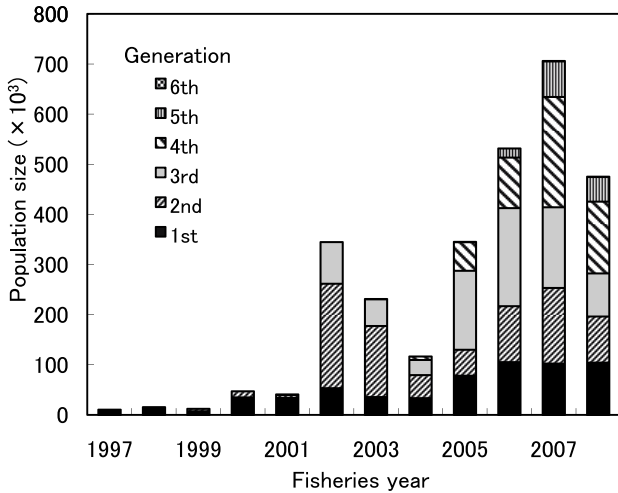


Fig.5 Population size in terms of number for each generation due to the stocking.

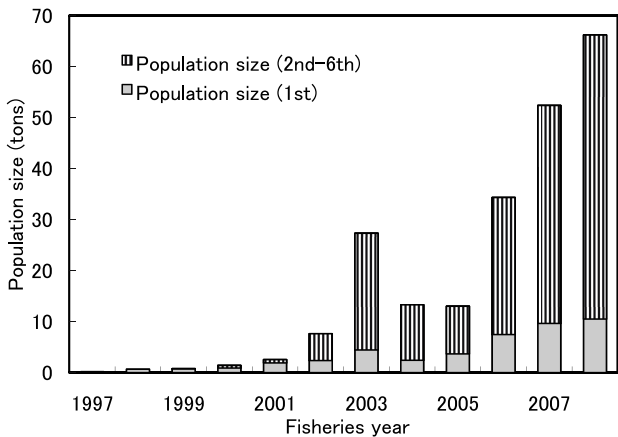


Fig.6 Population size from stocking.

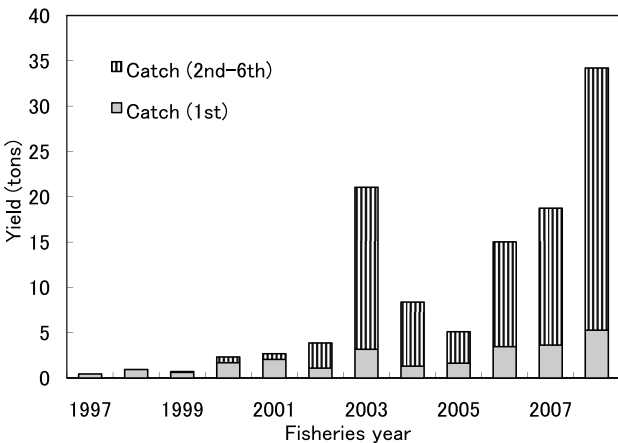


Fig.7 Yield from stocking.

2008年度には第1世代で10.5トン、第2～6世代で55.7トン、計66.2トンとなった。なお1歳から2歳への体重の増加が大きいため、資源重量の増減の時期は資源尾数よりも1年遅れていた。また漁獲量も増加傾向にあり、2008年度には第1世代で5.3トン、第2～6世代で28.9トン、計34.2トンに達した。

一方、産卵親魚重量をみると (Fig.8)、2001年級が産卵を開始した2003年以降増加し、2008年には約37トンとなった。

漁業管理効果

漁業管理を実施しなかった場合として、1995～2001年度の年齢別漁獲尾数から算出した漁獲量と、2002年度以降の1歳魚に対する $F_{1,y}$ を1995～2001年度の平均値である0.625に固定した前進計算に基づいて算出した漁獲量をFig. 9に示した。また、2002年度以降に管理を実施した場合として、同年度以降の年齢別漁獲尾数から算出した漁獲量を示した。

管理を行わなかった場合の漁獲量は、2002年度には管

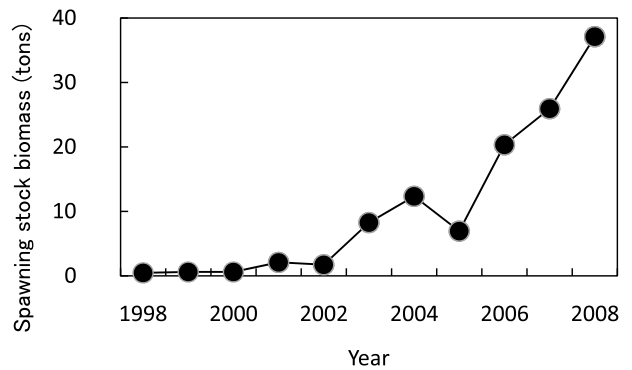


Fig.8 Spawning stock biomass due to stocking.

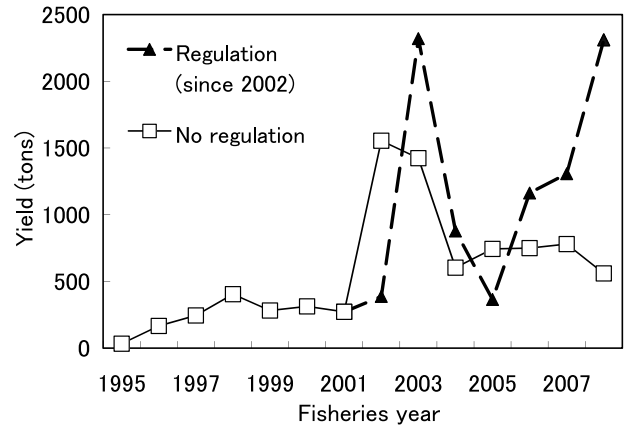


Fig.9 Calculated Yields in the case of fisheries regulation (since 2002), and no regulation.

理を行った場合を1,000トン以上, 2005年度には約300トン上回ったものの, その他の年度には下回った。特に2008年度には, 管理を行わなかった場合には, 管理を実行した場合よりも約1,750トン漁獲が下回るとの結果が得られた。また2002~2008年度を通算すると, 管理した場合の漁獲量が, 管理しなかった場合を約2,300トン上回った。

考 察

VPAによって, 再生産の良否の指標となるRPSが1995, 1996年に高かったことが示され, それが資源増大の契機となって1997年以降の石狩湾系ニシンの漁獲量増加につながったと考えられる。そして, その後一定の産卵親魚量が確保されている中で, 2001年に再度RPSが高くなり, 豊度が高い年級が発生した。その2001年級が2004年以降に本格的に産卵に参加したことで, 2004, 2005, 2006年級の豊度も高くなったと考えられる。

種苗放流の直接的効果である放流魚(第1世代)の資源への加入量は, 放流数の増大に伴ってゆるやかに増加してきたものの, その2008年度における漁獲量は5.3トンであり, 魚価を同年度の平均的な値である400円/kgとした場合の漁獲金額は約210万円となる。一方, 種苗放流魚の産卵参加による資源増加効果は, 第2~第6世代の累積によって年々増加しており, 2008年度の漁獲量は28.9トン, 漁獲金額は1,160万円となっている。両者を合計した効果は, 漁獲量で34.2トン, 1,370万円となった。

2008年度の種苗生産コストは2,500万円であったことから, 未だ費用対効果は十分とは言えない状況にある。しかし, 資源が高水準で安定し, 先述した世代の累積による効果が今後も上昇するならば, 費用対効果の改善がなされるかもしれない。さらに2008年度の放流由来の産卵親魚量は約37トンと資源管理の最低目標値である250トン¹³⁾の約15%を占めており, 資源の安定に寄与しているとみなすことが出来る。

漁業管理については, 開始直後には漁獲量が減少したものの, 2002年度以後を通算してみれば, 漁獲の増大に寄与している。特に2006年度以降は, 管理をしなかった場合との計算された漁獲量の差は拡大しつつある。

以上のように, 1997年以降の石狩湾系ニシンの漁獲増大について, その多くは天然資源の増加によるものと考えられる。しかし, 未だ費用対効果は低いものの, 種苗放流による資源の添加効果も徐々に増大していると推察された。また, 漁業管理の実施は, 近年の資源の維持と増大に大きく寄与していると考えられた。さらに, 種苗放流効果の増大には漁業管理による親魚の保護が寄与し

ており, 逆に種苗放流事業が漁業者への管理の重要性を理解させる大きな要因となっているなど, 両者の効果は相乗的であると考えられる。

今回, VPAによって資源増大の要因を解明すると同時に, 得られたパラメータを使用して, 種苗放流および漁業管理の効果を計算した。これは一つの試みであり, 今後, 種苗放流および漁業管理の効果判定において複数の手法による相互検証が必要と考える。

謝 辞

本研究は, 日本海ニシン資源増大プロジェクトおよび日本海ニシン増大推進プロジェクトを通して得られた成果に基づいている。プロジェクトに関わられた漁業者および漁業協同組合の職員各位, ならびに北海道栽培漁業振興公社, 宗谷, 留萌, 石狩, 後志各支庁および各支庁の水産技術普及指導所, 北海道水産林務部の職員各位, 北海道立水産試験場の同僚諸氏に感謝申し上げる。

文 献

- 1) 田中伊織: 北海道西岸における20世紀の沿岸水温およびニシン漁獲量の変遷. 北水試研報 62, 41-55 (2002)
- 2) 北海道水産林務部水産振興課: 2009年第14回日本海沿岸ニシン漁獲状況速報. 2009, 1p.
- 3) 北海道立中央水産試験場, 北海道立稚内水産試験場, 北海道立栽培漁業総合センター, 北海道水産林務部栽培振興課: 平成8~10年度日本海ニシン資源増大プロジェクト報告書. 2000, 174p.
- 4) 北海道水産林務部: 平成11~13年度日本海ニシン資源増大プロジェクト報告書. 2004, 258p.
- 5) 北海道水産林務部: 平成14~16年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書. 2006, 233p.
- 6) 北海道水産林務部: 平成17~19年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書. 2009, 138p.
- 7) 山崎英樹, 竹森弘征, 岩本明雄, 奥村重信, 藤本宏, 山本義久, 小畑康弘, 草加耕司, 北田修一: 瀬戸内海東部海域におけるサワラの種苗放流効果. 日本水産学会誌, 73(2), 210-219 (2007)
- 8) 一色竜也, 片山知史: 神奈川県沿岸域におけるヒラメ種苗効果の推定. 神水セ研報第3号, 49-57 (2008)
- 9) 厚地 伸, 増田育司: 鹿児島湾におけるヒラメ人工種苗の放流効果. 日本水産学会誌, 70(6), 910-921 (2004)

- 10) 松村靖治：有明海におけるトラフグ *Takifugu rubripes* 人工種苗の当歳時の放流効果と最適放流法. 日本水産学会誌, 71(5), 805-814 (2005)
- 11) 西田芳則：再生産モデルから推定したニシン放流の効果. 平成17～19年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書. 71-75 (2009)
- 12) 安江尚孝, 内海遼一, 森山彰久：Y/Rを用いた紀伊水道東部海域シラス漁業の最適な漁業管理方策と禁漁効果の評価. 日本水産学会誌, 71(5), 791-796 (2005)
- 13) 山口幹人, 石田良太郎, 高柳志朗, 浅見大樹：ニシンの資源管理対策調査. 平成17～19年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書. 88-107 (2009)
- 14) 田中昌一：水産生物のPopulation Dynamicsと漁業資源管理. 東海区水研研報, 28, 1-200 (1960)
- 15) 高柳志朗, 山口幹人, 石田良太郎：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体サイズと成熟割合の変化. 北水試研報, 77, 13-20 (2010)
- 16) 瀧谷明朗, 石野健吾, 伊藤慎悟：ニシンの種苗放流効果調査. 平成17～19年度日本海ニシン増大推進プロジェクト報告書. 68-70 (2009)
- 17) 三宅博哉, 高柳志朗, 石田良太郎：石狩湾系ニシンの資源管理手法の検討. 平成18年度日本水産学会大会講演要旨集, (2006)