

ハタハタ石狩群における資源変動の特徴

星野 昇

中央水産試験場

Characteristics of population dynamics in Ishikari stock of the sailfin sandfish *Arctoscopus japonicus*

NOBORU HOSHINO

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

The sandfish *Arctoscopus japonicus* is an important stock in the Sea of Japan, off Hokkaido. In this study, annual changes in the population size were estimated on the basis of VPA. The population size of the Ishikari stock increased gradually in the late 1990s because of high recruitment in the 1997 and 1999 year-classes. The spawning stock biomass recovered more than 200 tons in 2000; consequently, the 2001 year-class had the highest level of recruitment since 1995. However, the survival rate of juveniles, as indicated by the RPS values, decreased in the early 2000s, resulting in a decline in the population size and catch. The RPS values of this stock may be strongly affected by the water temperature in the Ishikari Bay during the early summer season.

キーワード：RPS, VPA, 石狩湾, 資源量推定, 水温, ハタハタ

北海道日本海におけるハタハタ(*Arctoscopus japonicus*)の漁獲量は、1990年代半ばまでに急減し、1995年には過去最低の15トンとなった。その後、漁獲量は増加して100~300トンの水準で推移している (Fig.1)。石狩湾西岸に位置する厚田地区周辺のごく浅い沿岸域を主要な産卵場として、天売舟状海盆一帯で索餌期を送った後、1歳に多くの個体が成熟し秋季に雄冬岬沖の水深200m前後の海域を産卵場に向かって移動する (Fig.2)。漁期はその時期に集中しており、沖合域ではえびこぎ網漁業と沖合底びき網漁業 (かけまわし) で、沿岸域では刺網漁業などで漁獲されている (星野・三橋, 2011)。分布域はこの海域範囲に限られており、「石狩群」と称して資源評価などが行われている。

ハタハタ石狩群では、1990年代後半から、漁獲量の回復を図るために関係漁業者が漁期前に資源管理方策を定め実践している。中央水産試験場では、資源管理方策の検討に必要な情報を得るために、調査船による漁期前トロール曳網試験、漁期中の漁獲物モニタリング調査、稚魚の地びき網調査などを実施して、来遊資源量や年齢・体長組成を推定している。しかし、来遊資源量の推定・

予測については、本資源の資源動態を的確に把握できていないことから、確度の高い情報を提供するには至っていない。

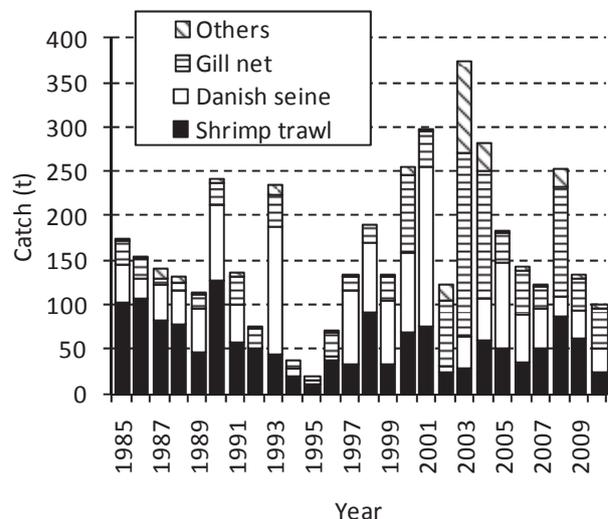
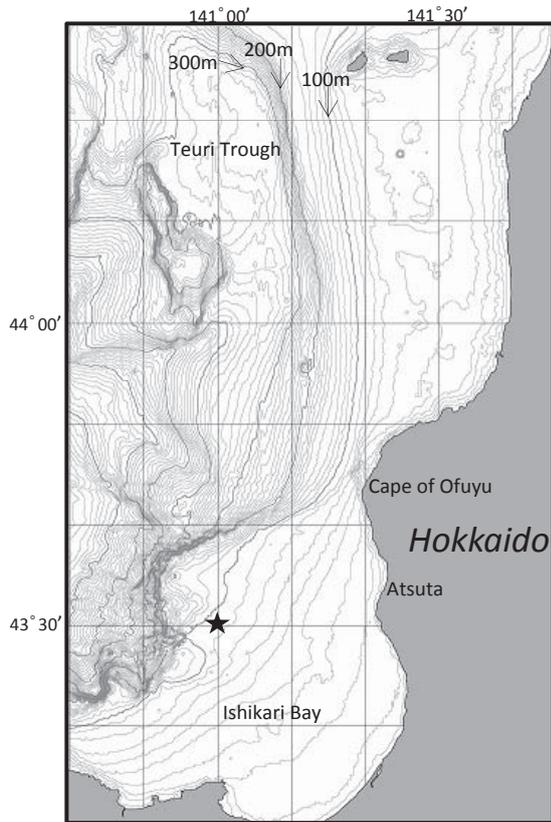


Fig. 1 Annual changes in the catch of the Ishikari stock of sandfish.



- ★ The observation point of sea water temperature by CTD.
- * The data of isobath had been downloaded from the website of Japan Oceanographic Data center.

Fig. 2 Map showing the distribution of the Ishikari stock of sandfish.

一般に、資源動態を把握するためには、漁獲物年齢組成のコホート解析 (VPA) やCPUE (漁獲努力量あたりの漁獲量) など資源量指数の解析, あるいは、調査船調査に基づく現存量のモニタリングなどが行われる。しかし本資源の場合、ハタハタ操業船による漁獲努力量の年推移を把握することは、いずれの漁業においても実質的に不可能であり、また調査船のトロール調査で得られる分布密度は、曳網位置や回数など操業条件の年変化が大きく、必ずしもその年の資源量を反映した値としては得られていない。そのため、VPAによって資源動態を把握することが現状では最も有効な手段と考えられる。しかし、本資源の漁獲物の大半は1歳および2歳魚の二つの年齢群で構成されており、一般的にはそのような資源にVPAを適用しても、計算の構造上、適切な推定値が得られにくく (平松, 2006), 計算方法に工夫を要する点となっている。

さらに、VPAによって推定された値に基づき産卵親魚重量を算出する際に、初成熟年齢である1歳について、とくに沿岸漁業で漁獲された雄の年齢組成をこれまで十分

に継続調査することができていないという問題がある。また、1歳期の成熟率は雄ではほぼ100%であるのに対し、雌では未熟の1歳魚が存在しており、それらは成熟魚のみが対象となっている本資源の漁業自体に加入しないことが想定される (本誌別稿参照)。このような状況の下では、雌雄を込みにしたデータに基づくVPAから得られる産卵親魚量の推移は、実際に産卵した親魚重量の推移と大きく異なる可能性が大きい。そのため、VPAにより資源動態を把握するためには、雌雄それぞれの年別・年齢別漁獲尾数を推定したうえで、雌のみのデータに基づいて計算を行う必要がある。

本研究では、ハタハタ石狩群の資源動態に対する理解を深めることを目的として、上記のような適用に際してのいくつかの問題点を改善したうえでVPA計算を行い、近年の資源量や加入量、産卵親魚量の推移にみられる特徴を把握した。また、資源変動と海洋環境の関係を検討する際の基礎情報を得るために、VPAの結果に基づく再生産関係と稚・幼魚期の分布域である石狩湾の水温との関連性について検討した。

試料及び方法

漁獲物年齢組成の推定 中央水産試験場が実施している毎年の漁獲物モニタリング調査で得られたデータのうち、沖合底びき網漁業、えびこぎ網漁業、刺網漁業の主要3漁業で漁獲された漁獲物標本組成を、留萌、石狩、後志の各支庁 (現振興局) 管内の当該漁業全体の数量でそれぞれ引きのばすことで、1月1日~12月31日までを単年の集計期とする年間の漁獲物年齢組成を得た。なお、漁獲量には漁業生産高報告 (北海道庁資料) の統計値を用い、2010年は暫定値である。同じ方法でモニタリング調査が実施されている1996年から2010年のデータを本研究の解析データとして用いた。なお、漁獲物の年齢は各個体の耳石輪紋の読輪に基づいて決定しており、本稿では、1月1日を便宜的な誕生日として満年齢で標記する。漁獲物の年齢組成は雌雄別々に推定したうえで、雌のみの年齢組成データを解析の対象とした。本資源の漁獲物に出現する最高齢は4歳であり、1~4歳の漁獲物年齢組成として推定した。

資源尾数の推定 単純なVPAの基本式により雌の資源尾数を推定した。ハタハタ石狩群では、年によっては春季にえびこぎ漁業により数トン程度の漁獲があるが、大半は10~11月の盛漁期に漁獲が集中する。計算に際しては、一年間の漁獲のすべてが瞬間的に起こると仮定し、次の1, 2式により毎年の資源尾数および漁獲死亡係数を推定した。これにより推定される資源尾数は、実質的に盛漁

期である10～11月の直前の資源尾数に相当することとなる。

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

$$F_{a,y} = -\log\left(1 - \frac{C_{a,y}}{N_{a,y}}\right) \quad (2)$$

ただし、 $N_{a,y}$ 、 $C_{a,y}$ 、 $F_{a,y}$ はそれぞれ、 a 歳、 y 年における雌の漁期前資源尾数、雌の漁獲尾数、漁獲死亡係数を表す。自然死亡係数 M は田内・田中の式(田中, 1960)を目安に、1歳漁期初めから4歳漁期初めまでの3か年分の自然死亡係数を2.5とし、1歳漁期初め～2歳漁期初めまでを0.5、2歳漁期初め～3歳漁期初め、3歳漁期初め～4歳漁期初めまで、それぞれを1.0と配分して用いた。1歳漁期後の自然死亡係数を小さく配分したのは、例年1～2歳の漁獲尾数に対して、3歳以上の漁獲尾数が著しく小さくなること、1歳の終わりに初回繁殖した個体の2歳漁期までの生存率が比較的高いという当海域における標識放流調査の結果(星野・三橋, 2011)を考慮したことによる。

各年級群の $F_{a,y}$ すなわちターミナル F については、基本的には3、4歳の出現頻度が1、2歳に比べて小さく、さらに4歳の出現頻度は3歳に比べて相当に小さいので、ターミナル F の与え方による推定資源尾数全体への影響はさほど大きくないと考えられる。また、3歳と4歳の漁獲圧(漁獲死亡係数 F)がいずれかの年齢に偏っているような状況は本資源の漁業の特性上考えにくい。これらのことから、各年の漁獲尾数の3歳～4歳比が資源尾数の3歳～4歳比と等しいと仮定することは合理的と考えた。そこで、次の3式を目的関数とし、これを最小化するような $F_{4,1996\sim 2010}$ を推定することで、(1)～(2)式を計算した。

$$\phi = \sum_{y=1996}^{2010} \left(\frac{C_{4,y}}{C_{3,y}+C_{4,y}} - \frac{N_{4,y}}{N_{3,y}+N_{4,y}} \right)^2 \quad (3)$$

$$\text{なお、 } N_{4,y} = \frac{C_{4,y}}{1-e^{-F_{4,y}}}$$

目的関数 ϕ の最小化はMS-EXCELのソルバー機能を用いて、推定値の範囲を0.1～2.0と条件設定したうえで数値計算した。なお、2010年の3歳以下の漁獲死亡係数は2010年4歳の漁獲死亡係数と等しいと仮定した。2010年の1歳および2歳の資源尾数には、2010年10月に実施した稚内水産試験場所属調査船北洋丸によるトロール調査で採集された雌の標本の、3歳、4歳の合計採集尾数に対する1歳、2歳それぞれの採集尾数の相対比を、上記VPAで推定された2010年の3歳と4歳の合計資源尾数に乗じた値を便宜的に与えた。

上記で得られたVPA推定値から、毎年の産卵親魚重量

を計算した。本資源で漁獲対象となるのはほぼ全てが産卵直前の親魚であるので、産卵資源尾数は、2～4歳魚については各年齢の推定資源尾数から漁獲尾数を差し引いたものとした。1歳魚については前述のとおり資源加入率を100%と仮定できないので、1歳の漁獲尾数を同年2歳の $F_{2,y}$ より計算される漁獲率、すなわち $1-\exp(-F_{2,y})$ で除すことにより、その年に加入し漁獲対象となった資源として求め、これから1歳魚の漁獲尾数を差し引いたものを産卵資源尾数とした。これにより得られた各年の年齢別産卵親魚数に、その年の漁期前トロール調査(中央水産試験場所属調査船おやしお丸および稚内水産試験場所属調査船北洋丸で実施)で採集された成熟魚の年齢別体重平均値を乗じて、産卵親魚重量とした。

y 年の産卵親魚から生み出される $y+1$ 年級群の1歳資源尾数($y+2$ 年の1歳資源尾数)を加入尾数とし、再生産関係を評価した。

再生産関係と海洋環境 VPAにより得られた再生産関係と海洋環境との関係について検討した。本種については、本州日本海や北海道太平洋において、水温環境と資源変動との相関が指摘されている(例えば、Sakuramoto et al., 1997; Sakuramoto et al., 2001; 石田ら, 2006)。そこで本研究では、主要産卵場である石狩湾西岸において産み出され、5月頃まで産卵場付近の浅海に滞留していた稚魚が、湾内そして湾外深所へと分散する時期と考えられる初夏(5月下旬～6月下旬)(星野, 2010b)の石狩湾の水温変動に着目し、再生産関係との関連性を検討した。水温データは、中央水産試験場が毎年6月初めに行っている定期海洋観測において、北緯43度30分、東経141度00分の観測地点(Fig.2参照、水深約95m)の20、30、50、75mの4層から得られたCTDによる水温計測データの平均値を用いた。

結果

漁獲物年齢組成 推定された雌の漁獲物年齢組成の年推移をFig.3に示す。併せて、これに各年・各年齢の平均体重を乗じて計算される雌の漁獲量推定値を、雌雄込みの総漁獲量と共に示す。漁獲物は1歳および2歳でその大半が占められており、2004年のみ3歳が半数以上を占めた。雌の漁獲量推定値は平均して総漁獲量の50%程度であるが、雌雄込みの総漁獲量と相似的な年変動を示している。ただし、1歳魚が漁獲主体となった2000、2006、2007年は雌の漁獲量の割合は小さい傾向がある。これを、年級群ごとに並べ替えてFig.4に示す。1997、1999、2001年級群に対する漁獲尾数は他の年級群と比べ著しく多く、1990年代後半から2000年代前半にかけての漁獲量の回復傾向は、これら3つの年級群に起因している。それ以降

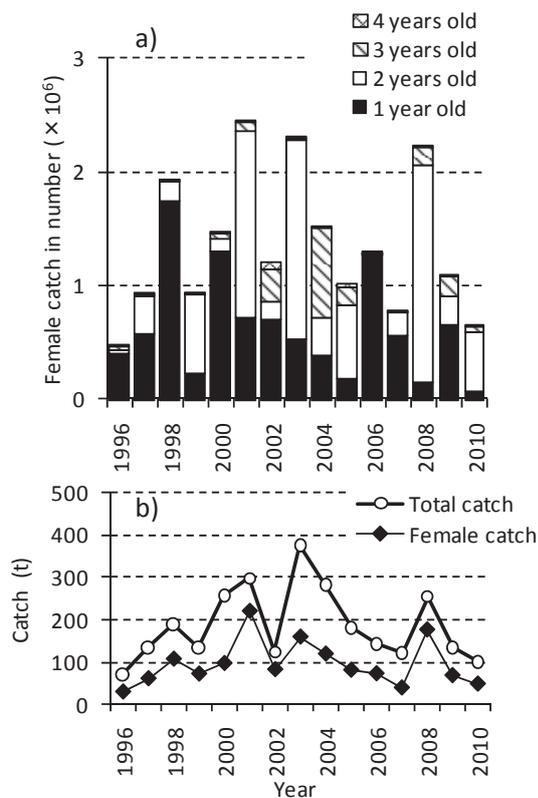


Fig. 3 Annual changes in the catch of the Ishikari stock of sandfish. Graph as measured by (a) the estimated number of females and (b) the total and female catch weight.

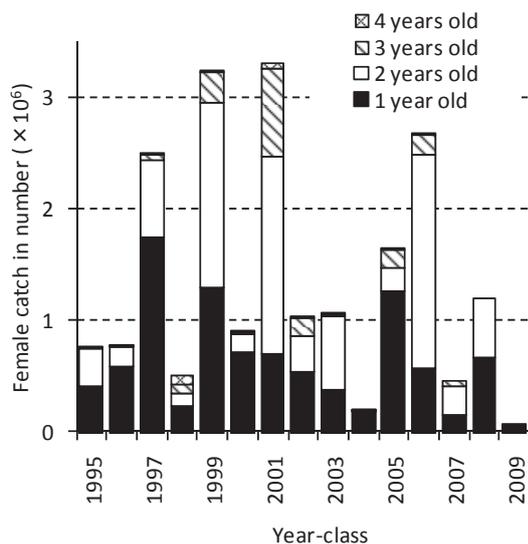


Fig. 4 Number of females caught for each year-class of the Ishikari stock of sandfish.

は2006年級群が2歳魚として2008年の漁獲量を大きくのばしたことが分かる。

資源尾数 VPAによる雌の資源尾数推定値と、これに各年・各年齢の平均体重を乗じて計算される雌の資源重量

をFig.5に示す。資源尾数は漁獲尾数と同様に1歳と2歳で大半が占められており,その総数は1996年の123万尾から徐々に増加して2002年には875万尾に達したが,その後急減し2005年には136万尾と再び最低水準にまで下がった。この10年の間に約8倍の幅で資源は増減したことになる。2007年には500万尾を超える水準に急増したものの,以降は再び減少傾向で推移している。

再生産関係进行评估するため, Fig.6に各年級群の加入尾数(1歳時資源尾数)と,その親となった産卵親魚の重量の年変化を示す。また, Fig.7には両者の散布図を示す。両図から, 1997年級群の加入尾数が比較的多かったことにより産卵親魚量がやや増加した状態で, 1999年級群が高豊度年級群として発生したことが分かる。これにより1999年級群が1歳魚として親魚資源を構成した2001年級群の産卵親魚量(2000年秋の産卵資源量)は急激に増加し200トンを超えた。その子世代である2001年級群は高い水準で発生し, 2歳時には250トンに達する親魚資源を構成したが, その子世代である2004年級群は過去最低水準の加入豊度であった。これにより, 2006年級群を産する親魚資源はきわめて低い水準となったが, 2006年級群が卓越加入し, 以降の資源増加に寄与した。

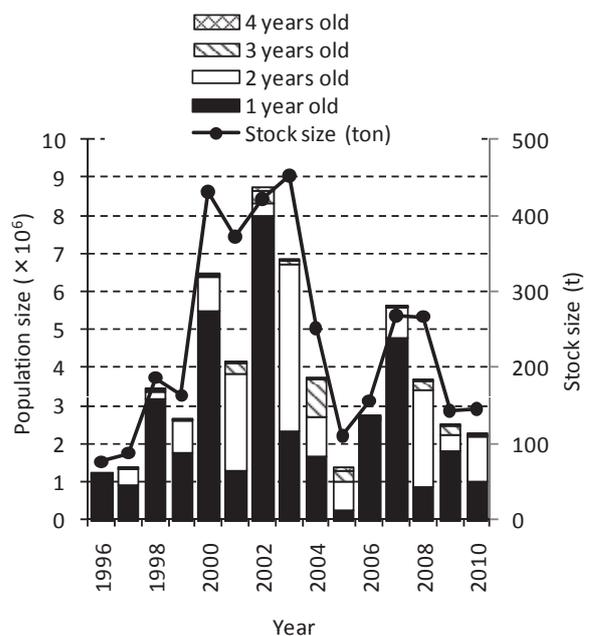


Fig. 5 Annual change in female population size and stock size of the Ishikari stock of sandfish.

Fig.8に各年齢の漁獲尾数を資源尾数で除して得た漁獲率の変化を示す。漁獲率も資源尾数同様に大きく変動しており,2歳魚では80%を超える高い値が推定された年が複数みられる。また, 1歳魚に対する漁獲率は2歳魚のそれより一般的に低く推定された。

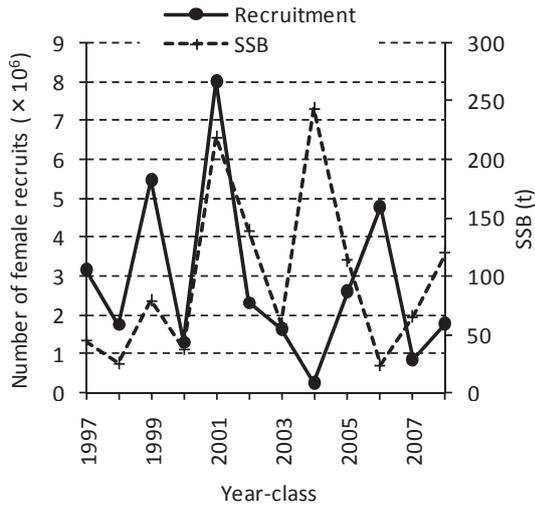


Fig. 6 Number of female recruits and spawning stock biomass (SSB) for each year-class of the Ishikari stock of sandfish.

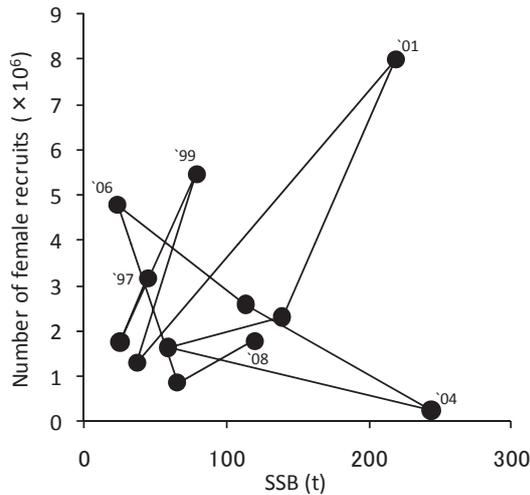


Fig. 7 Relationship between the number of female recruits and the spawning stock biomass (SSB).

再生産関係と海洋環境 Fig.9に、各年級群の加入尾数とその産卵親魚重量で除した値（以降RPS : Recruitment per Spawning stock biomass）の年変化と、石狩湾における6月初めの海水温の変化を併せて示す。RPSは1997年級群以降2004年級群にかけて漸減傾向を示している。一方、水温は1997年以降上昇傾向となり、2000年代前半は2003年がやや低かったものの2004年まで11℃以上の高水温であった。2006年は9.5℃と低水温となり、その年に発生した2006年級群のRPSは際だって高い値を示した。これらRPSと水温の関係の散布図をFig.10に示した。Fig.9およびFig.10から、この水温範囲においては、水温が高くなるとRPS、すなわち加入までの生存率が低下する傾向が認められた。

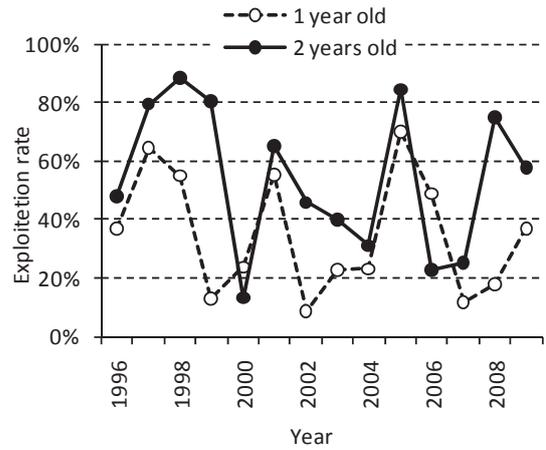


Fig. 8 Annual changes in the exploitation rates for female Ishikari stock of sandfish.

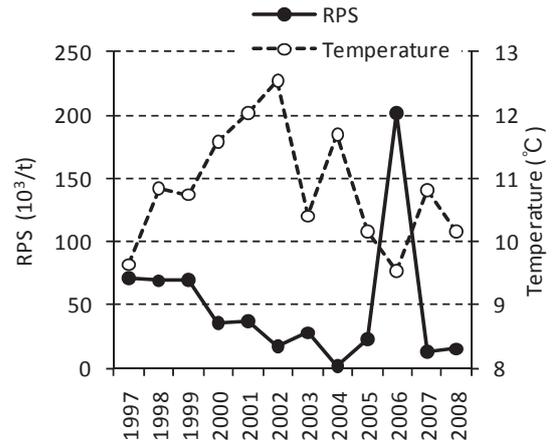


Fig. 9 Changes in the RPS value and seawater temperature of the Ishikari Bay in early June.

考 察

本研究では、ハタハタ石狩群の資源動態を把握するために、雌のみの年齢別漁獲尾数データを推定して、これを用いてVPAにより雌の資源尾数を推定した。Fig.3に示したとおり、雌の推定漁獲量は雌雄込みの総漁獲量に対し平均して50%程度であるが、1996年以降の雌のみと雌雄込みの総漁獲量の変動傾向は相似しており、増減のトレンドはほぼ同一である。また、前述のとおり、雄の年齢別漁獲尾数が不確実な状態であることをふまえると、雌のみのVPAに基づく結果は資源全体の変動傾向の特徴を捉えており、雄を込みにして解析を行うより確度が高い結果が得られたものと考えられる。また、VPA推定値から産卵親魚数を算出する際、漁獲加入しない資源が含まれると想定される1歳の産卵親魚数については、1歳で漁業対象となった資源のうち漁獲尾数分を差し引いたも

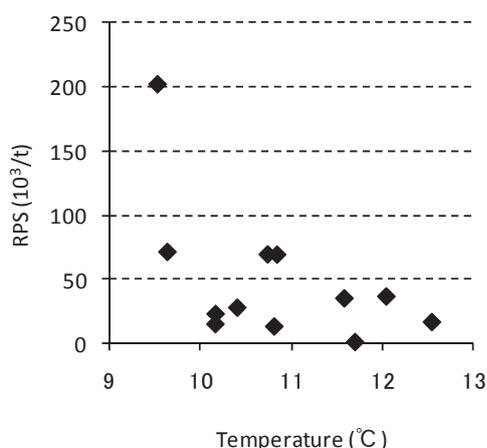


Fig. 10 Relationship between the RPS values of the Ishikari stock of sandfish and sea water temperatures of the Ishikari Bay in early June.

の」と考え、便宜的に同年2歳に対する漁獲率で1歳漁獲尾数を除して1歳資源尾数とし、そこから1歳漁獲尾数を引いたものとして計算した。そのため、例えば、漁期終盤になり、ほとんど漁獲対象とならずに産卵場へ移動し繁殖に参加するといった群を想定した場合には、産卵親魚量は過小評価となるので、この点については改善の余地を残した。しかし、各推定値の相対的な時系列変化を検討するといった、実用面においての問題は少ないと考え検討を進めた。

結果に基づいて、1990年代半ばから2010年までの本資源の資源・漁獲の動態を以下のとおり推論する。漁獲量が過去最低となった1995年以降、1997年および1999年に発生した年級群の豊度が比較的高くなったことで資源量が増加した。2001年級群は1995年以降最大の資源量と推定されたが、豊度を高めたのはその親魚資源量、すなわち2000年秋の資源量が1999年級群に支えられ、きわめて大きかったことが一要因と考えられる (Fig.7)。さらに、2001年級群が1歳として加入した2002年は、沖合域の漁業が操業の自主規制 (狙い操業の禁止、一部海域の禁漁など) を行ったため、2001年級群への漁獲圧力が下がった (Fig.1, Fig.8) ことにより、取り残された資源が2003年に2歳、2004年に3歳として漁獲物の主体となり、資源量、漁獲量は比較的高水準を保った。産卵親魚量は2003年に最高水準となったが、その子世代である2004年級群の資源量は著しく小さく、2001年級群の潰えた2005年には、資源量は再び1996年の水準まで下がった。しかし、2005年の資源から産み出された2006年級群の加入までの生存率は高く (Fig.7, Fig.9)、2008年に2歳魚として漁獲量を大きく増加させた。また、2006年級群は2007年に1歳魚として親魚量を増加させたことで、2008年級群が比較的高

い資源量で加入して2009~2010年の漁獲を支えたのではないかと考えられる。

以上のように、近年のハタハタ石狩群は、1990年代後半および2006年にみられた再生産関係の好転による加入尾数の増加と、それに伴う親魚資源量の増加により、2000年代前半にかけての漁獲量の回復傾向や2008年前後の漁獲増につながったと考えられる。再生産関係の好転をもたらす要因について、本研究では石狩湾における6月初めの水温分布の影響を強く受けている可能性が明らかとなった (Fig.9, Fig.10)。水温が低めであった1997年や2006年のRPSは比較的高く、高めで推移した2000年代前半は減少傾向を示している。秋田県沿岸を主産卵場とするハタハタ秋田群では、沿岸域の稚魚は11°C前後の水温帯に沿って次第に下層へと移動し、水温躍層が形成されると躍層下の低水温帯に集中するとされる (杉山, 2002)。また、より深い水深帯ほど体サイズの大きな稚魚が採集される傾向が明らかにされている (杉山, 1987)。これらのことから、沖合移動に必要な遊泳力を持つサイズに成長するまでに、石狩湾内が11°C以上というような高水温状態になる年には生残が下がり、湾内が比較的低い水温下にある場合には、多くの稚魚が深所に移動でき生残が高まる状態になるのではないかと推察される。

秋田県沿岸を主産卵場とするハタハタ秋田群の漁獲物年齢構成 (柴田, 2010) からは、石狩群と同様に、1999年級群、2001年級群、2006年級群の豊度が顕著に高いことが伺える。また、2006年上半期の日本海の低水温傾向は、他の日本海沿岸で産卵する資源、例えばスケトウダラにも卓越発生をもたらしている (板谷ら, 2009)。スケトウダラでは加入動向が石狩湾の冬季表面水温と負の相関関係にあることも報告されている (Funamoto, 2007)。一般的には、日本海海域の春季沿岸水温は対馬暖流の影響を強く受けることから、東北から北海道にかけての日本海に分布するハタハタ稚魚期の生残において、春から初夏にかけての対馬暖流の状態が深く関わっていることが示唆される。

一方で、秋田群では漁獲量の長期動向と、水深200-300mの水温動向との間に正の相関がみられ (Sakuramoto et al., 1997; Sakuramoto et al., 2001)、北海道釧路沖に分布する資源では、本稿の結果とは逆に、調査における0歳採集尾数と、十勝管内広尾町海岸の夏季水温との間に正の相関が報告されている (石田ら, 2006)。これらのことをふまえると、今後は、産卵場周辺や未成魚期の索餌場である天売舟状海盆の環境条件が加入までの生存にどのように影響するのか、検討を進める必要がある。

引用文献

- Funamoto, T. Temperature-dependent stock-recruitment model for walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) around northern Japan. *Fish. Oceanogr.* 2007; 16: 515-525.
- 平松一彦. 国際漁業委員会におけるVPAおよび関連手法について. 水産資源管理談話会報 2006; 37: 14-33.
- 星野 昇, 三橋正基. II-1石狩群. 技術資料No.7北海道のハタハタ資源. 地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部, 余市. 2011a; 118pp.
- 星野 昇. Iハタハタの生物・生態的特徴. 技術資料No.7北海道のハタハタ資源. 地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部, 余市. 2011b; 118pp.
- 石田良太郎, 平野和夫, 森岡泰三. 釧路産卵群ハタハタ資源はどうして変動するのか? 北水試だより 2006; 72: 7-12.
- 板谷和彦, 三宅博哉, 和田昭彦, 宮下和士. 北海道日本海・オホーツク海沿岸域におけるスケトウダラ仔稚魚の分布. 水産海洋研究 2009; 73(2): 80-89.
- Sakuramoto, K., Kitahara, T., Sugiyama, H. Relationship between temperature and fluctuations in sandfish catch (*Arctoscopus japonicus*) in the coastal waters off Akita Prefecture. *ICES J. Mar. Sci.* 1997; 54: 1-12.
- Sakuramoto, K., Sugiyama, H., Suzuki, N. Models for forecasting sandfish catch in the coastal waters off Akita prefecture and the evaluation of the effect of a 3-year fishery closure. *Fish. Sci.* 2001; 67: 203-213.
- 柴田理. はたはた. わが国の水産業. 社団法人日本水産資源保護協会, 東京. 2010; 15pp.
- 杉山秀樹. 秋田県沿岸におけるハタハタ卵塊および稚仔の出現状況. ハタハタ研究協議会議事録(ハタハタ研究協議会) 1987; 1: 20-25.
- 杉山秀樹. IIハタハタの生物特性. 栽培漁業技術シリーズNo.8ハタハタの生物特性と種苗生産技術. 社団法人日本栽培漁業協会, 東京. 2002; 113pp.
- 田中昌一. 水産生物のpopulation dynamics と漁業資源管理. 東海水研報 1960; 28: 1-200.