

ハタハタ石狩群における1歳時の成熟に関する再考

星野 昇

中央水産試験場

Reexamination of the maturity rate of Ishikari stock of the sailfin sandfish *Arctoscopus japonicus* at the age of one

NOBORU HOSHINO

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

The maturity rate of the Ishikari stock of the sandfish *Arctoscopus japonicus* is believed to be 100%. This study re-examined the maturity rate of this stock of fish aged 1 year to determine whether any deviations from 100% maturity could be detected. The mean values of body length of age-one fish were estimated for 2005–2008 year-classes by otolith back-calculation analysis of fish that were sampled at the age of 2 years. The maturity rate of the 2006 year-class of age-one fish was estimated 64% in females because of slower growth. These results indicate that maturity rates are not always close to 100%, particularly in females, and that the possibility of lower rates should be considered carefully when evaluating the spawning biomass of this stock.

キーワード : back-calculation, 石狩湾, 耳石, 成熟率, ハタハタ

北海道日本海に分布するハタハタ（以下、ハタハタ石狩群と称する）は、沖合底びき網漁業、えびこぎ網漁業、刺網漁業などで秋季に漁獲対象となる。かつて1,000トン以上あった漁獲量は1995年までに大きく減少し、その後は100~300トンの水準で推移している（Fig.1）。

ハタハタ石狩群は、石狩湾沿岸を主産卵場とし留萌管内の沖合にかけて分布する（Fig. 2）。2~3月頃にふ化した仔稚魚は6月頃まで産卵場付近に滞留した後、天売舟状海盆の水深250m以深に移動して、翌年の秋頃、すなわち1歳時の後半に初成熟し、石狩湾沿岸の産卵場へ移動する。その際、雄冬岬沖合に濃密に集群したところを沖合底びき網漁業やえびこぎ網漁業で漁獲され、産卵場付近では刺網漁業や小定置網漁業で漁獲される。雄では2歳、雌では3歳頃まで漁獲対象となり、それ以上の年齢群は少ない（星野・三橋，2011）。

ハタハタ石狩群の1歳時における成熟率、すなわち当該年級群の個体数に占めるその年に成熟して繁殖に加わる個体の割合については、これまでの漁獲物モニタリング調査や北海道水産試験場による秋季のトロール調査によって採集された1歳魚のほとんどが成熟していることか

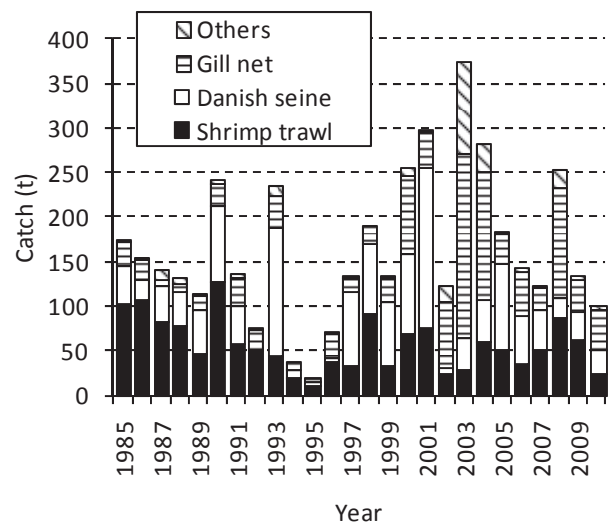


Fig.1 Annual change in the catch of the Ishikari stock of sandfish.

ら、雌雄ともほぼ100%と考えられてきた（前田，2003）。しかし、漁業や調査船調査で対象となるのは成熟して産卵場に向かう群であり、成熟するまでは調査や漁業の行

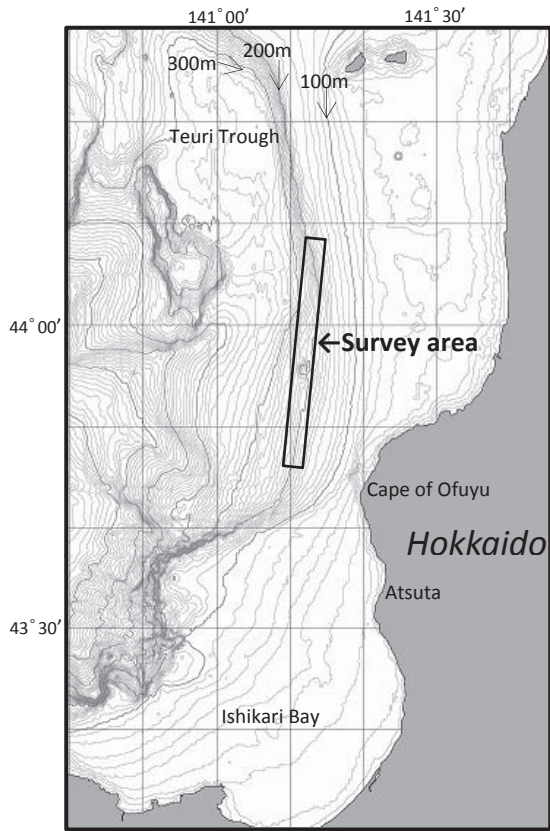


Fig. 2 Map showing the survey area of the Ishikari stock of sandfish.

われていない比較的深度帯に分散し、海底の泥砂に潜る生態を持つ(杉山・柴田, 1989)ことから、成熟していないハタハタが存在したとしても、成熟魚と比較して採集されにくいと考えられる。実際には、秋季トロール調査で未熟の1歳魚が採集される年があり、とくに2010年10月に実施された調査では、1歳魚の採集標本のうち雄19.7%、雌34.0%が未熟個体であった(Fig.3)。また、日本海における他の系群では1歳時の成熟率は100%でないことが知られている。例えば、本州日本海西部のハタハタ資源については、産卵期に未熟な雌1歳魚が漁獲対象となっている(清川, 1989)状況などをふまえ、雌については1歳時成熟率を0%とみなしている(藤原ら, 2011)。これらの状況から、これまで慣例的に100%とみなしてきた石狩群の1歳時の成熟率については、検証を進める必要がある。

ハタハタ石狩群の1歳時の成熟状態を検証することは、その生態学的意義のほか資源変動の要因について理解を進めるうえでも重要である。本資源の産卵親魚が1歳と2歳の2つの年齢群で大半を構成する(星野・三橋, 2011)ことから、雌の成熟率の考え方次第で産卵親魚量の推定

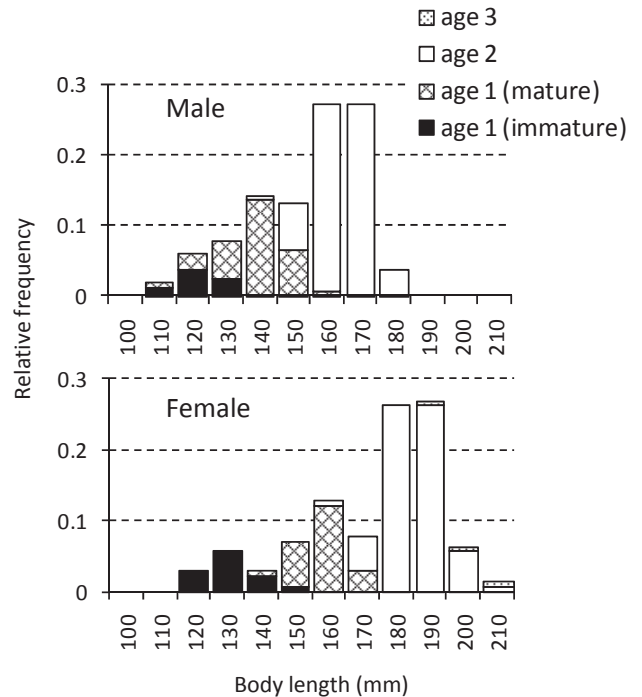


Fig. 3 Size at age distributions for the samples caught by trawl surveys conducted in October 2010.

結果が大きく変わる。また、漁業が成熟魚のみを対象としていることから、成熟率は漁業資源への加入率と等価であり、これを100%とみなすか否かで1歳の資源量に対する漁獲量の割合(漁獲率)の推定結果も大きく変わることになる。

前述のとおり、1歳魚については未熟個体が存在していたとしても、漁業やトロール調査では採集されにくい状態にあることを想定する必要があるため、1歳魚の採集物における成熟・未熟の比率から成熟率を推定することは妥当でない。一方、2歳以上については雌雄ともにこれまで未熟個体の記録がないことから、基本的には100%が成熟して漁業や調査の対象となっていると考えられる。そこで、本研究では、ハタハタ石狩群の2005, 2006, 2007, 2008年級群について、それぞれ2歳時に採集された標本の耳石輪紋から1歳時の体長を推定し、体長と成熟確率の関係から各年級群の1歳時における成熟の可能性を検討した。

試料及び方法

北海道水産試験場が北海道日本海の雄冬岬沖合海域(Fig.2)で実施している秋季トロール調査で得られた、ハタハタ石狩群の標本測定データおよび耳石標本を用いた。2007年11月の標本のみ、調査船による採集数が少なかったため、同じ海域で行われている沖合底びき網漁業

(かけまわし)による漁獲物を用いた。秋季トロール調査は、元中央水産試験場所属調査船おやしお丸(178トン)、および稚内水産試験場所属調査船北洋丸(237トン)によるオッタートロールで行われている。いずれの船舶のトロール網についてもコッドエンド目合(約35mm)はハタハタ1歳以上の体サイズに対して十分に小さいので、標本は漁具によるサイズ選択を受けずに採集されたものと考えた。採集標本は冷凍後に解凍して供試し、標準体長(以下、体長)を1mm単位で計測、性別判定、体重、内蔵除去重量および生殖腺重量を0.1g単位で計量した。

1歳時の体長推定 耳石解析に用いた標本数と標本採集情報をTable 1に示す。耳石標本の総数は961個体である。原則として体軸に対し右側の扁平石を、核を通過する横断線で切断して耳石薄片標本を作製した(Fig.4)。耳石標本は概ね高嶋(2011)の方法に準じ、10個体分を樹脂で包埋して1個のスライドガラスに接着させた状態に切り抜き、厚さ約0.15mmまで研磨して観察した。耳石径は落射光下で実体顕微鏡のCCDカメラによりデジタル撮影した薄片標本の画像をピクセル単位で計測し、対物マイクロメータを用いて0.1mm単位の実寸値に補整した値を用いた。

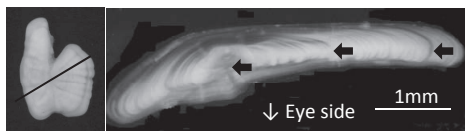


Fig. 4 A transverse section of a sagittal otolith from a 2-year-old female sandfish (190-mm body length, sampled on October 21, 2010). Annual rings and focus are indicated by arrowheads.

まず、2007年の8月から翌年3月にかけて採集された1歳魚(Table 1)の耳石薄片標本の外縁性状の変化を追跡することで、大半の個体の耳石が1歳の11月頃に不透明帯から透明帯の形成に移行することを確認した。各年10月の調査による1歳魚の採集物について、核から1歳時の不透明帯外縁までの距離と体長の関係性を雌雄ごとに把握した。

次に、各年10月の調査による2歳魚の採集物について、各個体の耳石薄片標本の核から1歳時不透明帯外縁までの距離を計測した。それぞれの年級群の1歳時秋季における体長組成を、上記の耳石径-体長関係に基づいて雌雄ごとに区間推定し、年級群間で比較した。その手順の詳細は結果と併せて後記する。

体長-成熟確率曲線の推定 2002年から2010年における10月調査で得られた1歳魚について、生殖腺重量の内蔵除去重量に対する割合が、雌雄ともに5%以上の個体をその年に繁殖する成熟個体と判断した(杉山, 2002)。体長階級(1mm幅)に対する成熟個体の出現率の散布点にロジスティックモデルを最尤推定し、1歳魚の体長-成熟確率曲線を現した。

成熟率の推定 各年級群2歳魚について、その1歳時推定体長と成熟確率曲線から1歳時の成熟率を雌雄ごとに推定した。

結果

1歳時の体長推定 Fig.5に、2007年秋季から翌年3月にかけて採集された2006年級群の耳石縁辺の状態変化を示す。8月および9月の採集物の耳石縁辺はほとんどが不透明帯であったが、10月には約30%、11月には約60%の個体の縁辺に透明帯が形成されはじめており、翌年3月には

Table 1 Sampling data for sandfish used in otolith analyses.

Sampling information				Number of individuals used in otolith analysis											
Year	Month/days	Depth(m)	Vessele	Male				Female							
				0+	1+	2+	3+	0+	1+	2+	3+				
2007	8/20-24	196-253	Oyashio-maru	0	16	2	0	18	0	3	0	0	3	21	
	9/10-12	229-251	Oyashio-maru	0	29	12	0	41	0	4	3	0	7	48	
	10/15	245-260	Hokuyo-maru	6	25	14	0	45	2	32	32	1	67	112	
	11/14	230-250	Commercial danish-seine	0	18	16	0	34	0	30	5	0	35	69	
2008	3/3-4	224-231	Oyashio-maru	0	17	0	0	17	0	10	3	0	13	30	
	10/22-30	213-252	Oyashio-maru	0	10	34	0	44	0	22	41	9	72	116	
2009	10/23-28	200-255	Oyashio-maru Hokuyo-maru	1	131	15	7	154	1	59	21	10	91	245	
2010	9/14-15	233-271	Hokuyo-maru	31	0	0	0	31	23	0	0	0	23	54	
	10/21	219-260	Hokuyo-maru	8	46	89	2	145	3	41	73	4	121	266	
Total				46	292	182	9	529	29	201	178	24	432	961	

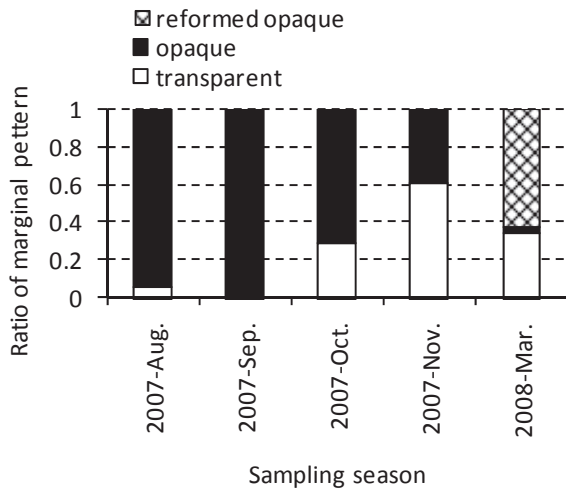


Fig. 5 Seasonal change in the marginal growth pattern for age-one sandfish.

ほぼすべての個体で、透明帯もしくは2歳期の不透明帯が形成されはじめている状態であった。このことから、ハタハタ石狩群1歳魚の耳石の透明帯は冬季の短期間に形成され、不透明帯の外縁端は、概ね10~11月にかけて形成されると考えた。

2007~2010年の10月調査で採集された1歳魚 (Table1) の、核から耳石縁辺 (透明帯が形成され始めている個体については不透明帯外縁端) までの直線距離 (Fig.4) に対する当該個体の体長プロットを雌雄別に示す (Fig.6)。両者の関係には正の相関関係があり ($r=0.66, p<0.01$), 雌雄それぞれの回帰直線の傾きには差があった (ANCOVA, $p<0.01$)。

次に、2007~2010年の10月調査で採集された2歳魚について、各個体の耳石の核から1歳時不透明帯外縁端までの

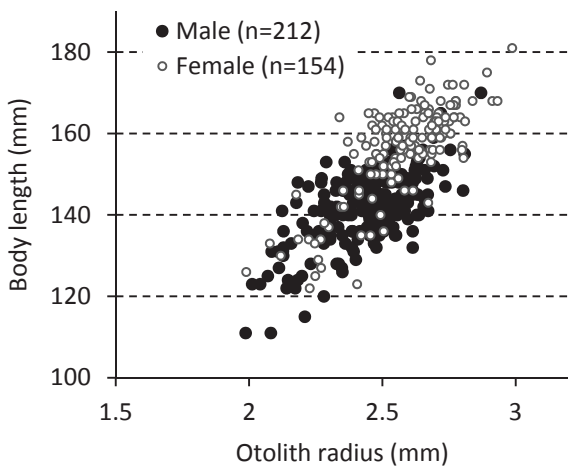


Fig. 6 Relationship between otolith radius and body length for age-one sandfish.

計測値より、Fig.6の関係に基づいて1歳秋季の体長組成を年級群ごと雌雄ごとに推定した。例えば、2007年級群の雌2歳魚の場合、まず、当該データ群から1個体の1歳時不透明帯外縁端までの計測値を疑似乱数で抽出する。それが2.5mmであれば、その個体の1歳秋季の体長の確率分布を、Fig.6に示した耳石径計測値2.5mmの雌すべての体長平均値と標準偏差を母数とする正規分布と考え、パソコンソフトの乱数ジェネレータによりその正規分布から発生させた値を当該個体の体長とする。これを2007年級群雌2歳魚のデータ数分の回数を繰り返し、体長平均値、最大体長から10%の体長、最小体長から10%体長の3個の統計量を求める。以上を1回の工程として、これを1,000回行うことで、これら3個の統計量の平均値とその95%ブートストラップ信頼区間を求めた。

これにより年級群ごとに得られた、2歳魚の1歳時推定体長組成の3個の統計値を雌雄別に示す (Fig.7)。併せて、それぞれの年級群が1年前の10月調査、すなわち1歳魚として採集された際の体長組成に関する同じ統計値を、星印で右傍に示している。体長組成の平均値は雌で137~145mm、雌で148~158mmの範囲で推定され、雌の方が雄より推定体長は大きかった。年級群間で比べると、雌雄ともに2006年級群が顕著に小さく、その他の年級群間の差は小さい。2006年級群については、2007年10月調査で1歳魚として採集された体長組成の統計値 (星印) も著しく小さいことから、これら4個の年級群の中では1歳秋季までの成長量が最も小さかったと結論できる。また、年級群ごとに1歳時推定体長組成の統計値と、1歳魚として採集された体長組成の統計値 (星印) を比較すると、各年級群、雌雄とも、上側10%体長値の差は小さいのに対し、下側10%体長値は、2歳魚の1歳時推定体長組成の方が明らかに小さく、その傾向は雌で顕著であった。

上記の1歳時体長の推定方法と同様の工程で推定した、各年級群の0歳秋季の時点での体長組成の平均値とその信頼区間をFig.8に示す。雌雄とも2007年級群の成長量が大きく、その他の年級群は雌の2006年級群が若干小さい程度であるが大差はなかった。

体長-成熟確率曲線の推定 2002~2010年の10月トロール調査で採集された1歳魚の体長階級別成熟率を雌雄別にFig.9に示す。これらの散布点に対して、ロジスティックモデルを適合させ、体長に対する成熟確率の期待値関数とした。雄個体の成熟確率 R_{male} 、雌個体の成熟確率 R_{female} は体長BL(mm)に対して、それぞれ次式のとおり推定された。

$$R_{male} = \frac{1}{1 + e^{(22.5 - 0.19 BL)}} \quad (1)$$

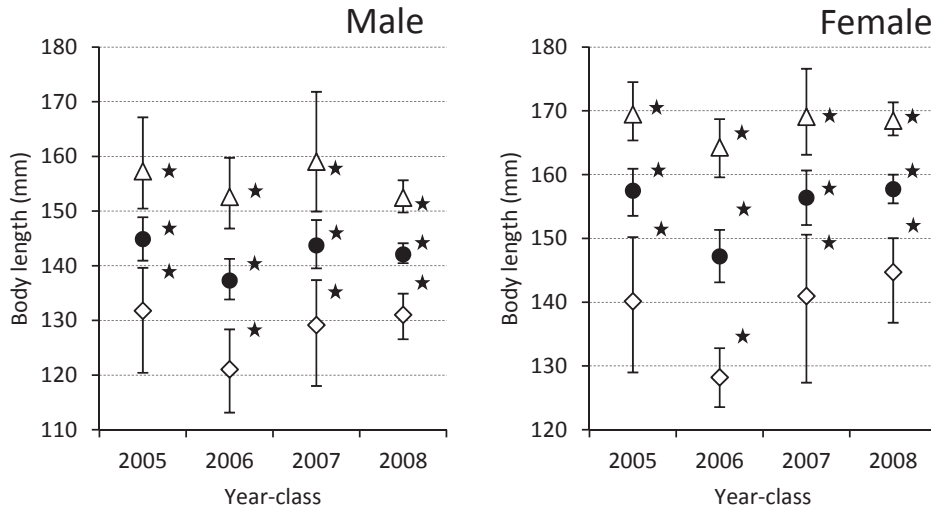


Fig. 7 Estimated statistics for body length (i.e., mean B.L., upper 10% B.L., and under 10% B.L.) at the age of 1 year for each year-class. Vertical bars represent 95% bootstrap confidence intervals around means. Stars represent the statistics of body length sampled at the age of 1 year for each year class.

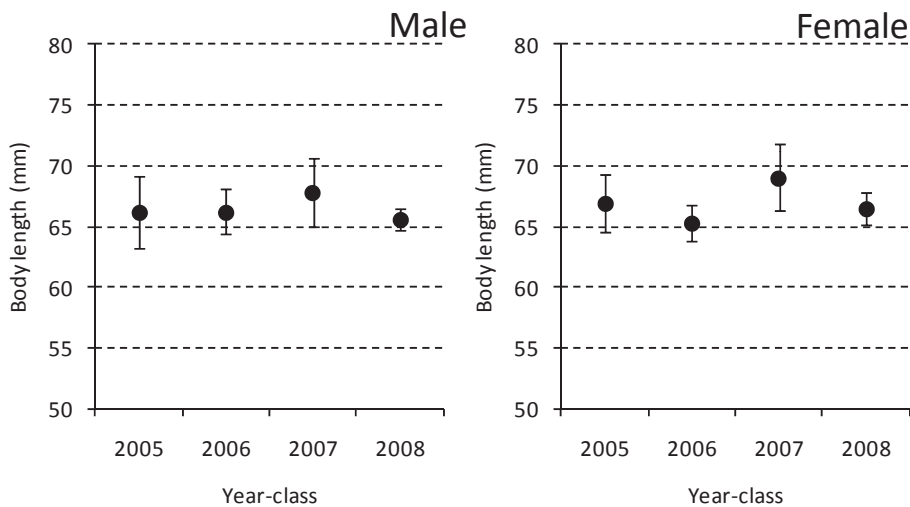


Fig. 8 Estimated mean body length at the age of 0 for each year class. Vertical bars represent 95% bootstrap confidence interval around the mean.

$$R_{female} = \frac{1}{1 + e^{(40.9 - 0.29 BL)}} \quad (2)$$

雄では体長約140mm以上での成熟確率はほぼ100%となるが、それ以下の体長では成熟確率は低下する。雌では体長155mm以上の成熟確率はほぼ100%、130mm以下ではほぼ0%であり、成熟するか否かは体長140mm前後を境界に劇的に変化している。

成熟率の推定 上記Fig.7を得るための一回の工程で得られる推定体長を、(1)、(2)式に代入して成熟率を求めるという作業を雌雄それぞれに1,000回行って得られた、各年級群の1歳時成熟率の平均値とその95%信頼区間を示す(Table 2)。2006年級群は推定された体長が小さいことにより、1歳時成熟率は雌雄ともに他の年級群より低く推

定され、雄で91.5%、雌で64.0%であった。その他の年級群では、雄が97%以上、雌が90%前後と推定された。

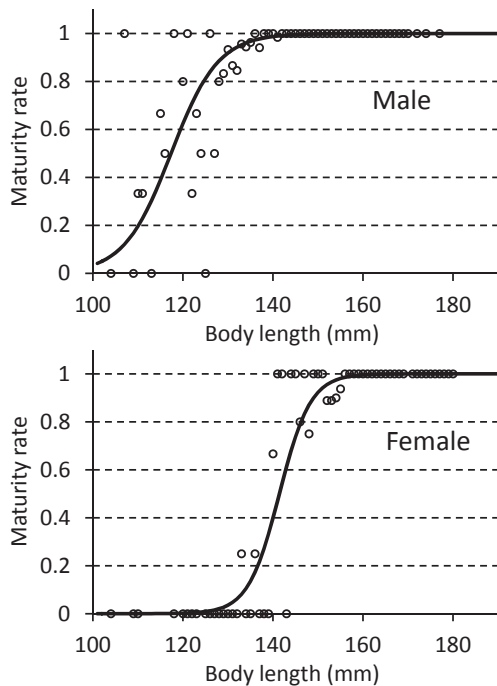


Fig. 9 Relationship between body size and maturity rate with fitted logistic curves.

考 察

本研究では、ハタハタ石狩群における1歳時の成熟状態を検証するために、まず1歳魚の耳石径と体長の関係から、2005～2008年級群のそれぞれ2歳魚について、1歳時における体長組成をBack-calculationによって推定した。次に、この体長組成に基づき、1歳魚の観察により得られた体長-成熟確率曲線から、1歳時における成熟率を推定した。

一般に、耳石径のBack-calculation法により過去の体長履歴を推定する場合に、実際より小さめに推定されることがあり、様々な角度からその原因や改善策が検討されている (Campana, 1990)。本研究では、耳石の肥厚により耳石表面からの輪紋計測に派生するバイアスを回避するため、薄片横断面の輪紋径を計測することとした。また、1歳秋季の体長を推定するために、1歳秋季の時点で大半の個体が不透明帯の形成が終わることを確認して (Fig.5), 1歳秋季の標本のみから耳石径-体長関係を得た (Fig.7)。さらに、耳石径-体長関係を一つの数式で表現することによって生じる系統誤差を回避するため、耳石径の測定値ごとにFig.7の観測値に基づく体長期待値と誤差分布を与え、その確率分布に基づいて抽出した値を当該個体の体長とし、ブートストラップ法によって区間推定した。これらの方法を用いたことにより、本研

Table 2 Estimated maturity rates at the age of 1 year for each year class. Values in parentheses represent 95% confidence intervals.

Year-class	Male	Female
2005	0.986 (0.962-0.995)	0.893 (0.798-0.964)
2006	0.915 (0.855-0.963)	0.640 (0.511-0.760)
2007	0.980 (0.948-0.994)	0.899 (0.790-0.977)
2008	0.971 (0.952-0.984)	0.919 (0.866-0.963)

究で推定された各年級群2歳魚の1歳時体長組成は、概ね的確に得られたものと考えられる。

体長-成熟確率の関係 (Fig.9) については、用いた標本が成熟して浅い水深帯に向けて移動している群より得られたものであるため、成熟していない個体は相対的に深い水深帯に存在する可能性がある。くわえて年級群ごとの違いも想定されるが、1歳未熟魚の採集尾数は少なく、年級群間、採集水深帯間の違いなどを定量的に評価することは難しい。しかし、雌の成熟個体の割合は、体長140mm台を境界に急激に変化し、その前後では成熟率は0%か100%となっており、雄についても、140mmより大きい範囲ではほぼ100%が成熟魚である。このことを考慮すると、水深帯や年級群の違いによって体長の大きな1歳未熟個体が高頻度で出現するといった可能性は低いと考えられる。

各年級群について、2歳魚の1歳時推定体長組成と1歳魚の体長組成を比較すると、雌雄ともに、下側10%体長は2歳魚の1歳時推定体長の方が小さいという傾向が認められた (Fig.7)。もし、Back-calculation法に伴う誤差や調査漁具の選択性により大きい個体が採集されやすいといったことが原因であれば、上側10%体長にも同様の差が生じるはずであるが、各年級群・雌雄ともに大きな差はみられない。雄で130mm以下、雌で140mm以下といった小型魚のみが1歳時には採集されにくく、2歳時に初めて採集対象となっていると考えられる。漁業でもこのような小型サイズは秋季の漁獲物にはほとんどみられていない (星野・三橋, 2011)。Fig.9から、これらのサイズは1歳時に成熟しない可能性が大きい。以上から、漁獲加入していない未熟の1歳魚がある程度存在しているが、それらは調査や漁業で採集されにくいため1歳時に調査や漁業で得られた採集物中の成熟個体の割合は100%近い値を示す状況と推察される。

推定された2歳魚の1歳時成熟率は2006年級群を除いて雄で97%以上、雌では90%前後であった。ただしこの推定値は、2歳秋まで生存し採集対象となった資源についての1歳時における成熟率であり、1歳時における成熟率、すなわち1歳魚の全個体数に占める成熟魚の割合ではな

いことに留意すべきである。1歳魚の成熟率については、1歳で成熟してその後に漁獲や自然死亡した尾数を考慮することになるので、2歳魚から得られた1歳時の推定値より大きくなると考えられる。今後、本研究で得られた結果を発展させ1歳魚の成熟率を推定するとともに、2歳魚の生殖腺の組織学的観察により1歳時の成熟履歴を確認する検討などを補足すれば、本資源の成熟生態に関する理解をさらに深めることができると考えられる。

一方、2006年級群の雌については、1歳時の推定体長が他年級と比べ小さく、成熟率は64%と著しく低い値で推定された。1歳時の体長が小さかったのは、とくに0歳秋から1歳秋の新規加入までの成長量が小さかった (Fig.7,8) ことによると考えられる。また、Fig.3に示したとおり2010年10月のトロール調査で1歳魚として採集された2009年級群は、平均体長が雄で138.8mm、雌で152.9mmと2006年級群と同程度 (Fig.7) に小さく、全採集物のうち、雄19.7%、雌34.0%が未熟であった。これまでの10月調査で得られた1歳魚の平均体長の推移 (Fig.10) をみると、2002年の1歳魚すなわち2001年級群も、2006年級群、2009年級群と同程度に体長が小さい。2006年級群や2009年級群の1歳魚の体長と成熟率の傾向、あるいはFig.9の結果を考慮すると、2001年級群の、とくに雌については1歳時成熟率が大幅に下がったことが推察される。2006年級群、2001年級群は、いずれも近年では加入豊度の高い年級群である (星野・三橋, 2011)。このことから、ハタハタ石狩群の成長は個体数密度に依存的な側面があり、発生量の多い年級群では個体の成長が鈍化し、1歳時の成熟率が低下する可能性が示唆される。また、Fig.10からは、2001年以降の1歳魚の体長推移のトレンドは緩やかな減少傾向にあるようにも見える。ただし、回帰直線の傾きは雌雄とも有意ではない ($p>0.05$)。

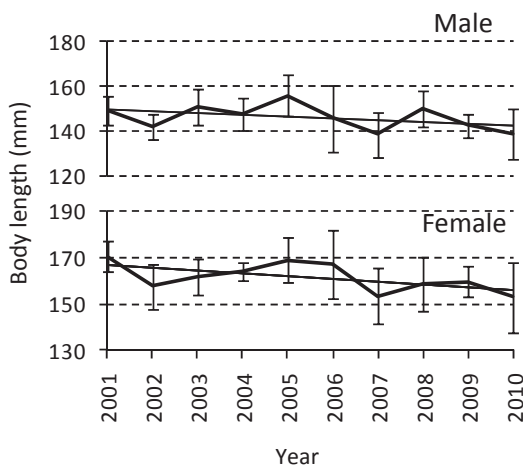


Fig. 10 Change in mean body length of sandfish at the age of 1 year sampled by trawl surveys in October. Vertical bars represent standard deviation.

今後、体長の減少傾向が進行した場合には、1歳時の成熟率が低下する可能性もあり、注視すべき点である。

以上のことから、ハタハタ石狩群に対し資源解析に基づいて産卵親魚量を推定する場合、1歳魚の雌の成熟率を年級群間で一律に100%と仮定すると、とくに高豊度の年級群が1歳となる年の産卵親魚量を過大評価する可能性がある。今後、コホート解析などの資源解析において産卵親魚量を推定する場合には留意すべき結果と考えられる。

ハタハタの他海域における成熟率については、北海道太平洋の資源では1歳以上は雌雄とも100%と考えられているが、雄は0歳で成熟し繁殖に加わるものが多くみられる (國廣, 2011)。また、朝鮮半島東岸を主産卵場とし山陰地方の沖合で漁獲対象となる日本海西部系群の雌は1歳では成熟しないと考えられている (藤原ら, 2011)。秋田を主産卵場とする日本海北部系群についても、雌の100%成熟は2歳以降とされている (藤原・後藤, 2011)。何らかの生息環境要因の海域差により、北海道のハタハタ資源は他海域と比べ成長が速くなり成熟率が高まるのかもしれないが、それを検討するための十分な情報を持たない。成長を介してではなく直接的に成熟進行に作用するような生息環境要因が存在する可能性も考えられる。また、石狩群では近年、成熟の進行自体が遅くなっており、産卵場付近での初漁日が遅れる傾向がみられている (星野・三橋, 2011)。これらのことをふまえ、今後は体長との関係だけでなく、海水温変化の影響などについても着目した検討を進める必要がある。

謝辞

本研究で用いたハタハタ石狩群の標本の多くは、2010年3月をもって用途廃止となった中央水産試験場調査船おやしお丸によるトロール調査で採集された。おやしお丸の功績を称えとともに、おやしお丸、北洋丸の乗組員として調査にご尽力されてきた皆様に感謝申し上げます。

引用文献

- Campana, S., E. How reliable are growth back-calculations based on otolith? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1990; 47: 2219-2227.
- 藤原邦浩, 上田祐司, 廣瀬太郎, 木下貴裕. 平成22年度ハタハタ日本海西部系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価 第2分冊. 水産庁増殖推進部・独立行政法人水産総合研究センター, 東京. 2011;

1242pp.

- 藤原邦浩, 後藤常夫. 平成22年度ハタハタ日本海北部系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価第2分冊. 水産庁増殖推進部・独立行政法人水産総合研究センター, 東京. 2011; 1242pp.
- 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. 2011; 118pp.
- 清川智之. 試験船および市場調査によって得られたハタハタの性状について. 第3回ハタハタ研究協議会報告書, 秋田県水産振興センター, 男鹿. 1989; 82pp.
- 國廣靖志. II-2噴火湾群. 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. 2011; 118pp.
- 前田圭司. ハタハタ.「新 北のさかなたち (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; 216-219.
- 杉山秀樹. II.ハタハタの生物特性. 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.
- 杉山秀樹, 柴田理.「しんかい2000」によるハタハタ *Arctoscopus japonicus*の生態と生息環境に関する研究. 海洋科学技術センター試験研報 1989; 111-119.
- 高嶋孝寛. II. 耳石による年齢査定. 技術資料No.6 北海道周辺におけるホッケの資源と漁業. 北海道立水産試験場, 余市. 2011; 55pp.