

近年における石狩湾産ハタハタの体長変化

星野 昇*

北海道立総合研究機構中央水産試験場

Recent tendency of change in body size of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the Ishikari Bay.

NOBORU HOSHINO*

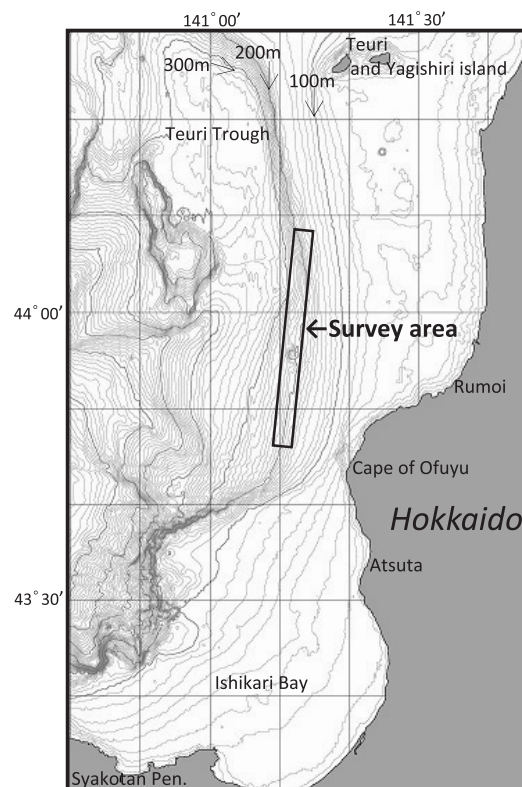
Central Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan

In this study, I examined the recent tendency of the growth of sandfish distributed in the Ishikari Bay, off Hokkaido. I found that in each year-class generated since 2009, the body length of sandfish collected by trawl surveys was extremely small. Consequently, the maturity rate of 1-year-old fish, amount of spawning, and progression of maturity for maternal fish have decreased. No significant changes were found in the egg size from 2009 to 2013. It was suggested that the recent tendency toward lower growth has prevented recovery of the stock size.

キーワード：石狩湾，体長，ハタハタ，産卵数，卵径

石狩湾産ハタハタ (*Arctoscopus japonicus*) は、主に石狩湾から留萌振興局管内の沿岸・沖合海域で漁獲される (Fig. 1)。産卵場は石狩湾東岸のごく浅い海域において確認されている (星野, 2011)。産卵は11~12月頃に行われ、2~4月頃に孵化した稚魚は5月末から6月上旬頃に沖合へと移動する (星野ら, 2013)。漁業の対象となるのはその翌年の秋季から、すなわち1歳後半の初成熟した親魚が漁獲対象となる。2歳以降も毎年繁殖するが、3歳以上の漁獲は著しく少なく例年1歳魚と2歳魚で漁獲物の大半が構成される。産卵期以外は主として留萌沖合200m以深の海域に分布しており、9月頃から産卵場に向け徐々に移動する。

近年の漁獲量は、資源量の減少 (星野, 2011) により低水準で推移している (Fig. 2)。一方、漁獲物調査や着業者からの聞き取り調査では、漁獲物が小型化し大型銘柄の出荷数が減少する、来遊時期が遅くなり産卵場前浜での盛漁期が遅れている、といった傾向が現れている。魚体の小型化は成熟開始年齢の遅れや産卵数の減少といった資源の再生産力に影響する。来遊時期の変化は、当資源の資源管理方策として実施されている時限禁漁区や漁期制限などの効果にも影響する。そのため、近年のハタハタにみられる「低成長傾向」に関する実態を把握することは、資源管理を進めるうえで必要である。



* The data of isobath had been downloaded from the website of Japan Oceanographic Data center.

Fig.1 Map showing the geographic locations referred to in this paper.

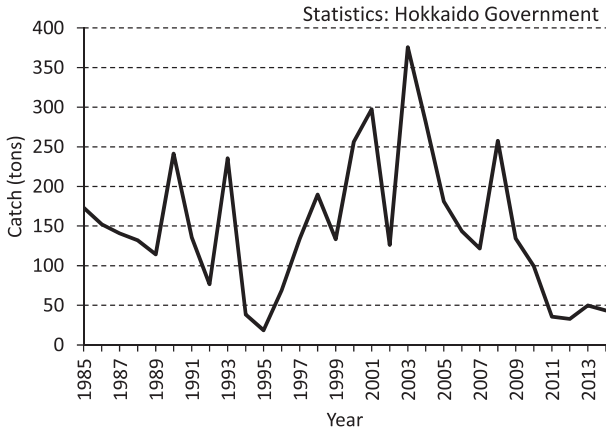


Fig.2 Annual change in the commercial catch of sandfish in the Sea of Japan, off Hokkaido.

そこで本稿では、2003年以降の体長変化と、成熟状態、孕卵数、卵径といった繁殖形質の年変化について検討した結果を報告する。

試料及び方法

体長変化 体長変化の検討には、北海道立総合研究機構中央水産試験場が、当資源の漁況予測と資源管理方策検討のため、2003年以降、毎年9月と10月に留萌沖合の索餌海域 (Fig. 1) において、産卵場への移動のため集群したハタハタを対象としたトロール調査の採集物データ (Table 1) を用いた。この調査は水産試験場調査船により、一箇所あたり原則30分、1.5ノットでオッタートロールを着底曳網し、ハタハタの他、ニシンやスケトウダラ、カレイ類などを採集する調査である。使用している網のコッドエンド目合は約35mmで、ハタハタ1歳後半の体サイズに対しては漁具のサイズ選択性を無視できる程度に小さいことから、この調査の採集物データを用いて、産卵期前の体長に年変化が認められるか検討した。また、水深による体サイズや成熟状況の違いも考えられたので、水深200~300mの範囲にある調査点のデータのみを用いることとし、この範囲での採集水深の影響は無視した。なお、雌雄別・年齢別の採集尾数が9月、10月合わせて10尾未満であった年は検討から省いた。

採集物は船上で直ちに冷凍し、後日解凍して分析に供した。個体ごとに標準体長 (1mm単位)、体重および内臓除去重量 (0.1g単位)、生殖腺重量 (0.1g単位)、生殖腺の外観から成熟度を計測、判定し、左右の耳石 (偏平石) を摘出して輪紋数から年齢を決定した。1歳魚については、生殖腺重量の内臓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)。

Table 1 Summary of samples used to analyze the change in body size

Survey information					Number of samples		
Year	Month	Days	Number of tows	Depth (m)	Sex	Age	
						1	2
2003	Sep.	25-26	3	209-249	male	25	76
	female	4	28				
2003	Oct.	21	2	227-231	male	4	2
	female	2	1				
2004	Sep.	26-30	3	223-276	male	59	36
	female	15	15				
2004	Oct.	18-19	5	201-230	male	43	3
	female	2	11				
2005	Sep.	14-26	7	200-249	male	49	53
	female	3	7				
2005	Oct.	19-21	4	207-246	male	7	20
	female	14	42				
2006	Sep.	26	2	201-217	male	24	0
	female	5	0				
2006	Oct.	18-24	6	202-258	male	57	0
	female	32	4				
2007	Sep.	10-30	5	229-255	male	45	10
	female	6	5				
2007	Oct.	1-30	12	200-260	male	128	26
	female	86	56				
2008	Sep.	29-30	5	238-258	male	3	27
	female	9	44				
2008	Oct.	22-30	5	213-252	male	7	54
	female	21	82				
2009	Sep.	30	2	235-243	male	112	12
	female	29	9				
2009	Oct.	14-28	14	232-255	male	189	22
	female	61	25				
2010	Sep.	14-15	6	233-272	male	85	136
	female	33	17				
2010	Oct.	21-24	4	219-262	male	59	107
	female	41	82				
2011	Sep.	13-14	6	229-276	male	35	20
	female	6	0				
2011	Oct.	15-24	3	200-284	male	7	3
	female	5	1				
2012	Sep.	11-12	6	210-274	male	164	30
	female	66	24				
2012	Oct.	no conducted					
2013	Sep.	10-11	3	247-277	male	82	17
	female	34	5				
2013	Oct.	10-21	5	201-279	male	152	20
	female	22	6				
2014	Sep.	9-10	5	221-282	male	5	6
	female	2	1				
2014	Oct.	9-19	5	246-257	male	6	8
	female	4	9				

2009年までは調査船おやしお丸 (178トン) による採集物が大半を占めたが、2010年以降はおやしお丸の廃止に伴い、調査船北洋丸 (237トン) による採集のみとなった。両船の曳網条件等は同一であるが、使用するオッターボードやグランドロープの質量は北洋丸の方が大きく、これら漁具の違いによる採集物への影響も考えられた。そこで、2006~2009年の間、両船が同一もしくは近接海域で数日以内に曳網した調査点において採集された1歳魚の体長組成を対比することで、船舶の違いにより採集サイズに差異が生じた可能性を検討した。

成熟状態 産卵親魚の成熟の進行状態について年代による違いを検討するために、体長組成に顕著な変化が現れた2009年以前と2010年以降 (後記) で成熟雌の卵巣重量を比較した。ただし、卵巣重量は成熟の進行に伴って日々増重するのに対し、本研究で用いた標本の採集日は年代によって偏りがあるため単純な年比較はできない。そこで、年による採集日に偏りがなく標本尾数も多い10月後半 (15~31日) に得られたデータのみを検討対象とし、

トロール調査で採集された標本データに、同期間・同海域で沖合底びき網漁業とえびこぎ漁業で漁獲された標本 (Table 2) を加え、年代間の比較を行った。

また、1歳の雄と雌それぞれについて、2007年以降のデータを込みにして、標準体長に対する成熟割合の一般化線形式を、成熟割合が2項分布に従うものとして連結関数はロジットで推定し、成熟割合が0.5となる標準体長 (50% 成熟体長) を求めた。用いるデータを2007年以降としたのは、結果に後記するとおりそれ以前には雌雄ともに1歳の未成熟魚がほとんど出現しなかったためである。なお推定には、統計解析環境Rのglm関数を用いた。

孕卵数 2009～2013年の5カ年について、トロール調査と同海域・同時期に操業している沖合底びき網漁業とえびこぎ漁業の漁獲物標本 (Table 3) から毎年任意に20尾を目安に抽出し、その卵巣卵の卵粒を個体ごと全数計数した。なお、産卵直前の漁獲物は圧迫により卵巣卵の一部が漏出して孕卵数の検討に使用できなくなる可能性を考え、下記の卵径計測の標本とは別に沖合海域のものを対象とした。

卵径 2009～2013年の5カ年について、産卵場付近を漁場とする石狩市厚田区沿岸 (Fig. 1) で刺し網により漁獲された産卵親魚のうち、生殖孔が著しく肥大し産卵直前とみなされる個体のみ任意に30尾程度 (Table 4) を目安に抽出し各個体の平均卵径を得た。平均卵径は卵巣の全範囲から10～15粒程度を無作為抽出し、実体顕微鏡下で卵径 (長径) を計測しその平均値とした。

結 果

体長変化 2006～2009年に両船が同時期・同海域で実施した曳網調査で、1歳魚が10個体以上採集され比較検討が可能であったケースは6回あり、その体長組成を両船間で比較したところいずれのケースでも違いは検出されなかった (Kolmogorov-Smirnov 検定; $p=0.41\sim 0.96$) (Fig. 3)。例えば、2007年の雄と雌のように、明瞭なモードがなく140mmより小さい個体がまばらに存在するような採集物でも、両船でほぼ同様の体長組成となった。そこで、2010年以降に船舶と漁具が代わった影響は、ハタハタ1歳魚以上のサイズ比較においては無視できるものとして以降の検討を進めた。

2003年以降のハタハタの体長組成は、2010年頃から大きく様相が変化していた (Fig. 4)。雌雄ともに2010年の1歳魚、すなわち2009年級に、雄で120mm付近、雌で130mm付近にモードのある、それまでの年にはみられない組成が出現した。2011年や2012年の1歳魚にも同様の傾向が現れた。2歳魚についても2011年から雌雄ともに体長組

Table 2 Summary of samples to be added in order to analyze the change in progression of maturity

Year	Month	Days	Age	
			1	2
2003	Oct.	18	1	8
2004	Oct.	19, 25	10	55
2005	Oct.	16, 31	19	133
2008	Oct.	10, 17	1	43
2010	Oct.	31	2	12
2011	Oct.	11	2	5
2012	Oct.	30	27	1
2013	Oct.	18	5	14
2014	Oct.	31	19	43

Table 3 Summary of samples used to measure fecundity

Year	Month	Days	Number of samples		
			1 year old	2 years old	sum
2009	Nov.	6	21	8	29
2010	Nov.	1	1	23	24
2011	Nov.	28	20	9	29
2012	Oct.	30	19		19
	Nov.	5		3	3
2013	Oct.	18	5	14	19
	Nov.	14, 19	56	89	145
sum			122	146	268

Table 4 Summary of samples used to measure egg diameter

Year	Month	Days	Number of samples		
			1 year old	2 years old	sum
2009	Nov.	26	18	34	52
2010	Nov.	18		34	34
2011	Nov.	28	18	12	30
2012	Dec.	3	11	8	19
2013	Nov.	29	3	21	24
sum			50	109	159

成の形状が不明瞭となり全体的に以前より小型化していた。また、2007年の1歳魚と2008年の2歳魚、すなわち2006年級は過去に比べ体長組成が小型であり、1歳は2009年級と同様に主群と異なるモードを持った小型組成が加わったような状態を呈していた (Fig. 4)。

Fig. 4の体長組成データを1歳魚について、成熟個体、未熟個体別にプロットしたところ (Fig. 5)、2010年以降未熟個体の出現割合が増加しており、雄の未熟個体も過去と比べ多くなっていた。また、雌雄ともに1歳の最大体長は漸減しており、2010年以降の急激な体長組成の変化だけではなく、2000年代半ばから1歳魚の体長は全体的に低下傾向にあった。

成熟進行 毎年同時期 (10月15～31日) に採集されたハタハタの各体長階級 (5mm幅) に対する卵巣重量を、1歳と2歳について、2009年以前と2010年以降で比較した (Fig. 6)。ただし、どちらかの年代の標本データが無い階

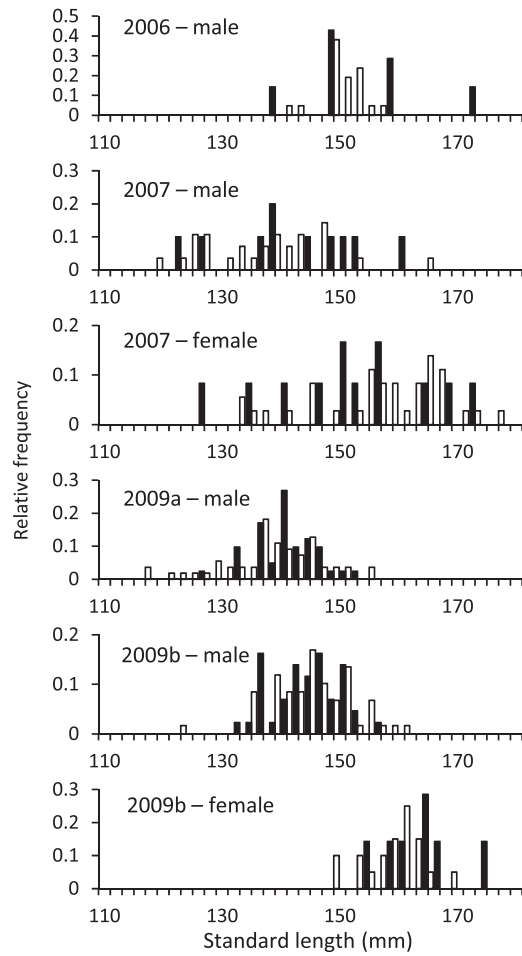


Fig.3 Length frequency distributions of the 1-year-old sandfish collected by Oyashio-maru (■) and Hokuyo-maru (□).

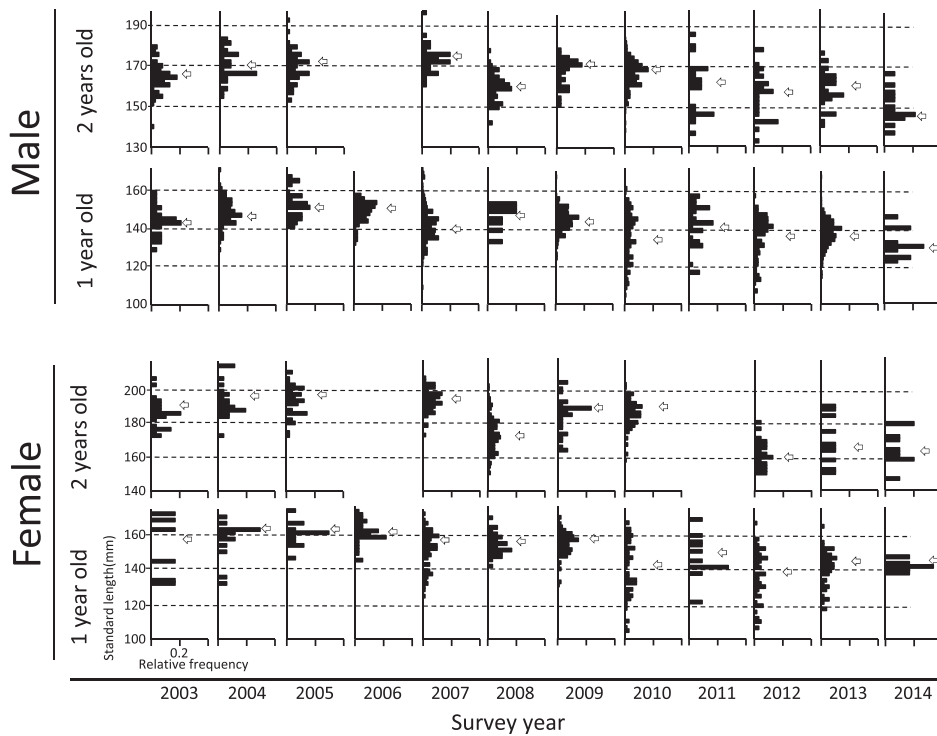


Fig.4 Annual changes in body length of the sandfish collected by trawl survey from September to October in every year. Arrows indicate the median of each frequency distribution.

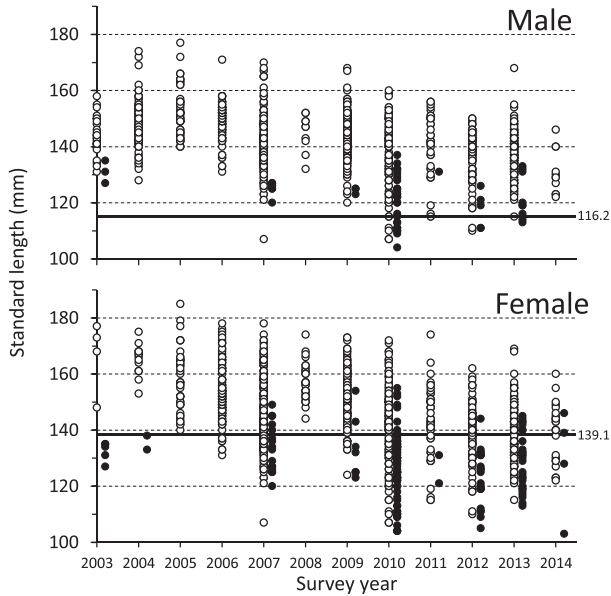


Fig.5 Plots of standard length of 1-year-old sandfish collected by trawl survey from September to October in every year. Open and shaded circles denote mature and immature individuals, respectively. Bold lines indicate the 50% maturity size estimated by general linear model.

級は省いた。1歳魚の各体長階級における卵巣重量は、160～165mm階級を除き中央値や四分位範囲は2010年以降の方が1～3g程度小さかった。2歳魚も同様で、175～180mm階級を除き、2010年以降の方が小さかった。すなわち、体長組成に顕著な小型化傾向が現れた2010年以降 (Fig.4) は、2009年以前と比べ同じ年齢・体長の個体の卵巣重量は小さい傾向があった。

孕卵数 2008～2012年級 (すなわち2009～2013調査年) の孕卵数は、1歳魚と2歳魚のいずれにおいても体長との間に正の相関関係があった (Fig.7) が、その関係を年級群間で比較することは、標本の体長範囲や標本数が大きく異なったため行わなかった。Fig.7からは、年級群間に顕著な違いは認められないようであったので、それぞれの年齢ごとに、すべての年級群を込みにした体長と孕卵数の関係を次式で推定した (体長の対数値に対するPoisson誤差分布を仮定した対数リンクモデル)。

$$1 \text{ 歳} : F = \exp(2.77 \log(SL) - 7.27) \quad (2)$$

$$2 \text{ 歳} : F = \exp(3.14 \log(SL) - 9.22) \quad (3)$$

F は孕卵数, SL は標準体長 (mm) である。

卵径 2008～2012年級の卵径には、1歳魚と2歳魚のいず

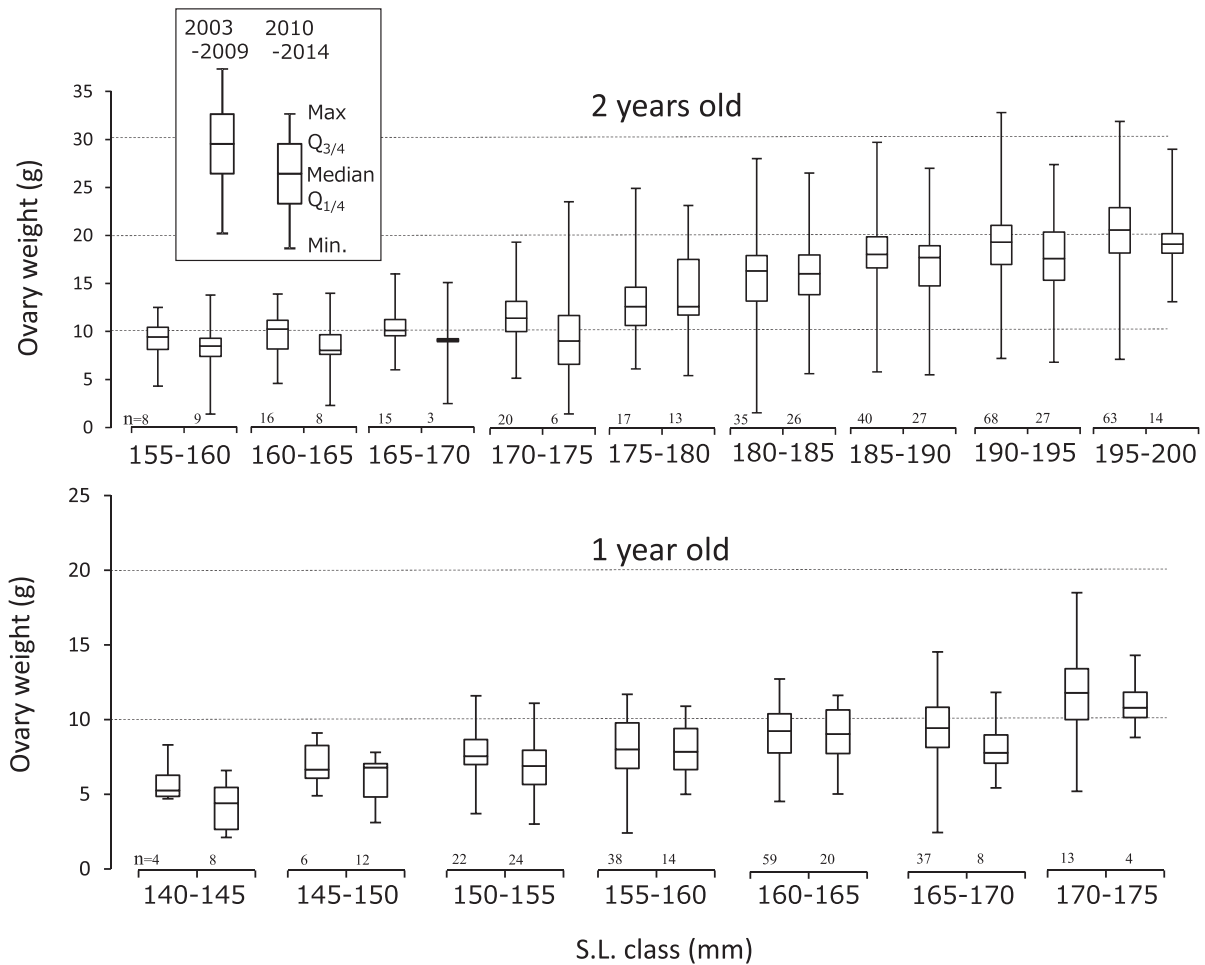


Fig.6 Box plots of the ovary weight to each standard length class of sandfish collected from October 15 to 31 in every year.

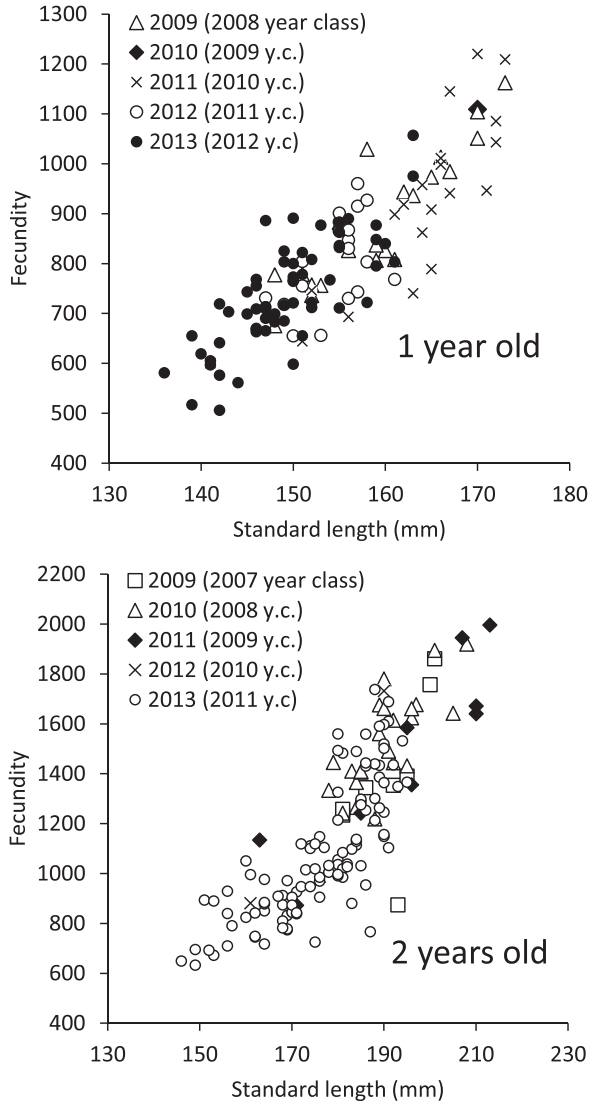


Fig.7 Relationships between standard length and fecundity of each year-class.

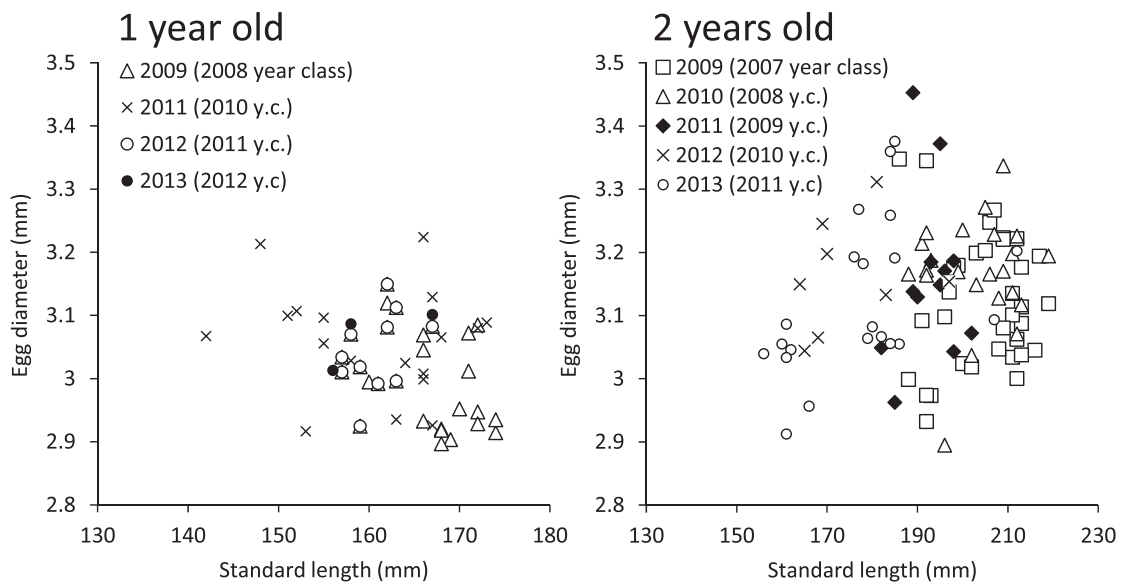


Fig.8 Relationships between standard length and egg diameter of each year-class.

れにおいても体長との間に相関はなく ($p>0.05$), 年級群間の比較では, 1歳魚において2010年級が2008年級より大きい (Tukey多重比較検定; $p=0.015$) 以外は年級群間に差異は認められなかった (Fig. 8)。なお, 年級群を込みにした1歳と2歳の平均卵径はそれぞれ3.02mm, 3.14mmで, 既報 (星野, 2011) のとおり2歳の方が大きかった (ANOVA; $p<0.01$)。

考 察

本研究において, 石狩湾に産するハタハタは, 2010年頃から1歳と2歳の体長組成が顕著に小型化していることが明らかとなった (Fig. 4, 5)。2010年1歳魚の体長組成分布の形状は組成全体が小型化したのではなく, それまでと同程度のサイズ, すなわち雄で150mm付近, 雌で160mm付近にモードのある体長群と, 雄で120mm, 雌で130mm付近にモードのある小型群が加わったような組成であった。結果として, 2010年の1歳魚は, 雌雄ともに50%成熟体長を下回る個体が多く, その年には繁殖しない未熟個体が著しく増加した (Fig. 5)。2009年級の雄は2011年にも2歳魚として, 1歳魚の体長組成の形状同様, モードの不明瞭な体長組成となった。

この2009年級は2008年秋に産卵した親から産出された世代である。2008年は2006年級が2歳魚として資源を構成し, 近年では突発的に漁獲量が増加した年である (Fig. 2)。その年は, 例年ハタハタの来遊がなく漁業も行われていない地域, 例えば, 積丹半島以南の海域や天売・焼尻島周辺においても産卵来遊があった。2010年1歳魚の体長組成は同一の孵化群の成長過程で生じた変動傾向とは

一般的に考えにくいので、突発的に産卵域が拡大したことにより、異なるふ化時期、成長過程を経た複数の群が索餌海域に会したことで、このような現象が生じた可能性がある。しかし、2011年級（2012年1歳）、2012年級の雌（2013年1歳）にも同様の傾向が現れ、それぞれ翌年2歳時の体長組成にも1歳時の組成の形状が反映されている。これらの年級群を産んだ親魚の来遊時には、2008年のような特異的な現象は確認されていない。

さらに注視すべきは2008年秋に2009年級を産出した産卵群である「2006年級」の1歳時、すなわち2007年の1歳魚の体長組成である。2009年級と同様に小さく、いくつかの組成が混成したような形状となり（Fig. 4）、未熟個体の割合も多かった（Fig. 5）。そして2008年の2歳時にもその組成の形状が反映されており、上述の2009年級を産出した親魚資源の主体となった。一方、2006年級は、秋田県沿岸域を主産卵場とし「日本海北部系群」と称されるハタハタ資源においても卓越発生した（藤原ら、2015）。日本海北部系群は、標識放流試験結果などをふまえ基本的には石狩湾産のものと交流のない資源と考えられている（星野・三橋、2011）が、集団遺伝学的研究（柳本、2004）や外部形態の対比（Kobayashi, 1984）では差異が検出されていない。また、日本海北部系群の2001卓越年級が津軽海峡を経て三陸沖まで分布を広げたことがDNA分析により明らかにされており（白井ら、2007）、この時には北海道日本海南部（檜山地方）にも来遊があった可能性が指摘されている（國廣、2004）。日本海北部系群は、2009年以前の石狩湾産と比べ成長が遅く1歳時の成熟割合も低い（藤原ら、2015）。これらのことから、低成長特性をもった日本海北部系群の2006年級群が2007～2008年にかけて分布域を広げたことで当資源に移入し、とくに2008年に親魚となって2009年級を産出、さらに2009年級が親魚となった2010年以降に発生した2011年級や2012年級に低成長特性が受け継がれた可能性もある。

本州日本海から来遊した可能性を考慮するとすれば、2010年や2012年のように夏季から秋季にかけての表層域の異常高水温の影響も無視できない。ハタハタは底棲性であるが、夜間に表層まで上浮することが指摘されている（山崎ら、1991）。日本海北部系群の沖合分布域の水温が高くなると相対的に低温な北海道日本海へと表中層を移動することがあるかもしれない。

一方、当資源とほぼ同じ海域に分布する他の生物においても近年の小型化が報告されている。石狩湾を産卵場とするニシンは仔稚魚から成魚までの生息域が当ハタハタ資源と共通するが、2000年代後半以降漁獲加入までの成長量や成熟割合が低下している（<http://www.fishexp.hro.or.jp/exp/central/kanri/SigenHyoka/index.asp>）。ニシンの場合、

2000年代後半以降の資源量が高水準にあるため密度依存的な成長低下が生じ、生息環境を共有するハタハタにその影響が及んだ可能性もある。また、ハタハタやニシンの索餌海域からさらに深海に分布するホッコクアカエビでも近年の低成長傾向が明らかとなった（Yamaguchi *et al.*, 2014）。これらには海洋環境の長期的な変動が影響した可能性もあり、同所に分布するスケトウダラや、アカガレイ・ヒレグロといったカレイ類についても近年の成長傾向を詳細に分析し、相互に対比していく必要がある。

石狩湾産ハタハタでは、産卵の際の卵巣重量は内臓除去重量の40%以上に達する（星野・三橋、2011）が、本研究から、産卵場へ移動する前の時期（10月後半）の卵巣重量は、体長の小型化が顕著となった2010年以降は、同じ体長で比べてみても2009年以前より小さい傾向があり（Fig. 6）、体長の小型化のみならず成熟の進行も遅れている可能性が示された。より詳細な検討には雄も含めた組織学的分析が必要であるが、近年の体長に対する卵数や生み出される卵サイズには顕著な変化が生じていない（Fig. 7, 8）ことから、卵巣卵の発達自体が遅くなっていると考えられる。このため産卵のため沿岸に移動する時期や産卵期が以前と比べ遅くなってきたことが、「来遊の遅れ」という近年の着業者感覚につながっていると考えられる。また、産卵期が遅くなれば孵化時期も遅くなるので、稚魚が離岸し沖合の深みに分布を移す時期（5月下旬～6月上旬）の体サイズも小さくなり、それから約1年後の加入時サイズの低下につながっているという可能性もある。実際に離岸期の稚魚調査で採集されるサイズは2009年級が例年になく大型で、それ以降は徐々に低下しており2013年以降はほとんど採集がない（星野、2014）。

以上のように、ハタハタの低成長傾向をもたらした要因は、①他海域からの移入による成長特性の質的变化、②表層域の高水温傾向による他海域から移入、③索餌海域の海洋環境変化による影響、④ニシン資源の増大にともなう密度依存的な成長低下、さらには⑤成長・成熟の遅れが次世代に悪循環する、といった、直接証拠の得られにくい要因が相互に関係しているとみられる。要因の解明は難しいと考えられるが、2, 3式から求められる1歳、2歳の産卵数は、2009年以前の平均体長（1歳：161.6 mm, 2歳：190.1 mm）に対しては、それぞれ912, 1,418個であるが、2010年以降の平均体長（1歳, 152 mm；2歳：181.2 mm）に対しては782, 1,220個と、各年齢で約86%に減少した。くわえて1歳期の成熟割合も低下しているので（Fig.5）、近年の資源の純繁殖率は以前の水準と比べ著しく減少したことが明らかである。これのことが、厳しい漁獲規制にもかかわらず資源水準が回復しない大きな要因となっていると結論できる。現状ではできるだけ

け多くの親魚を獲り残す取り組みを継続し、海洋環境の好転など外的要因による資源水準拡大のきっかけを待つしかない状況である。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、中央水産試験場調査船おやしお丸ならびに稚内水産試験場調査船北洋丸のクルーをはじめ、調査船による標本採集、魚体測定、孕卵数計数などに多大なご協力を賜った各年の中央水産試験場スタッフ、とくに2009年におやしお丸廃止の決定をうけ、その年に北洋丸との採集物比較試験 (Fig.3) を立案、実行された当時中央水産試験場スタッフの板谷和彦氏、高嶋孝寛氏には重ねて深謝します。

引用文献

藤原邦浩, 松倉隆一, 後藤常夫. 平成26 (2014) 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. 2015; 1309-1324.
星野 昇. ハタハタ石狩群における資源変動の特徴. 北水試研報 2011; 80; 9-15.
星野 昇, 高嶋孝寛, 山口浩志. 石狩湾産ハタハタ仔稚魚のふ化時期 (短報). 北水試研報 2013; 83: 37-40.
星野 昇. 1.9ハタハタ. 平成25年度道総研中央水産試験

場事業報告書 2014; 35-37.

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. 2011; 1-16.
Kobayashi T. Variation in number of vertebrae of sandfish, *Arctoscopus japonicus* (STEINDACHNER), correlated with water temperature in period of early development. *Bull. Hokkaido. Reg. Fish. Res. Lab.* 1981; 46: 57-67.
國廣靖志. 江差でハタハタ釣獲. 北水試だより 2004; 66: 23.
白井 滋, 後藤友明, 廣瀬太郎. 2004年2-3月に得られた岩手沖のハタハタは日本海から来遊した. 魚雑 2007; 54(1): 47-58.
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.
Yamaguchi H, Goto Y, Hoshino N, Miyashita K. Growth and age composition of northern shrimp *Pandalus eous* estimated by multiple length frequency analysis. *Fish. Sci.* 2014; 80(4): 665-678.
山崎 繁, 安達二郎, 田中伸和, 由木雄一, 石田健次. 中層トロール網漁具開発研究 (指定調査研究総合助成事業). 島根水試研報 1991; 3: 67-110.
柳本 卓. mtDNAのPCR-RFLP分析によって明らかになったハタハタ集団の地理的分化. 日水誌 2004; 70(4): 583-591.