

石狩湾におけるソウハチの成熟全長と年齢

板谷和彦^{*1}, 藤岡 崇^{*2}

Total length and age at maturity of pointhead flounder *Hippoglossoides pinetorum* in Ishikari Bay in western Hokkaido

Kazuhiko ITAYA^{*1} and Takashi FUJIOKA^{*2}

This paper investigates total length and age at sexual maturity of pointhead flounder *Hippoglossoides pinetorum* in the Ishikari Bay, western Hokkaido. The samples were collected from May 1999 to February 2001 using beam trawl and bottom trawl gears of RV *Oyashio*. Monthly changes in gonad somatic indices showed that the main period of spawning were June and July. The point estimates of total length at 50% maturity were 217 mm for female and 170 mm for male. The maturity rates of female at each age 2, 3 and 4 years old were 21%, 70% and 97%, respectively. Whether the flounder reach sexual maturity depended upon the total length other than the age.

キーワード：ソウハチ，石狩湾，成熟全長，年齢

まえがき

北海道においてソウハチ *Hippoglossoides pinetorum* は沿岸域に広く分布し、2003年の全道の漁獲量は5,013トンであった¹⁾。本資源を市町村別の漁獲量から大別すれば¹⁾、日本海からオホーツク海の資源(2,540トン：桧山～網走支庁，以下日本海系とする)と、えりも以西太平洋海域の資源(1,422トン：恵山岬～えりも岬)の2つに分けられる。このうち、日本海系については1980年代から他魚種も含めた底生魚類の群集構造、仔稚魚の分布移動、成魚の分布移動、年齢と成長に関する報告がある²⁻⁶⁾。資源解析には、年齢と成長、性的成熟(以下、成熟とする)、全長と体重の関係といった資源特性に関する資料が必要となるが、日本海系の成熟に関する知見は見あたらない。成熟については、再生産関係を検討するときの親魚重量の算出に不可欠であり、また、漁獲制限体長の検討の際に重要な情報となる。そこで本研究では、調査船によるソリネットおよびオッターロールで得られた標本を用いて、成熟全長および各年齢での成熟率について検討した。

材料および方法

1. 標本

ソウハチの標本はFig.1に示す海域で1999年5月から2001年2月までに北海道立中央水産試験場試験調査船おやしお丸におけるソリネット(コッドエンド網目幅5.0mm)およびオッターロール(コッドエンド目合35mm)により採集された雌2,084,雄1,847個体である(Table 1)。曳網水深を当歳魚から産卵成魚まで生息する10～155mとし、Tominaga *et al.*⁴⁾の知見から未成魚の多く分布する比較的浅い海域ではソリネット、成魚の多く分布する深い海域ではトローロールを中心に用いた。標本を凍結保存し解凍後に実験室において全長、体長(標準体長、1mm単位)、体重(g)、生殖腺重量(電子天秤により0.1g単位)を計測し、肉眼観察により性、成熟度を調べ、生殖腺重量指数($GSI = \text{生殖腺重量} \times 10^2 / \text{体重}$)を計算した。年齢査定については、無眼側の耳石を摘出し実体顕微鏡により不透明帯の輪紋数および縁辺部の状態を調べ、Tominaga *et al.*⁶⁾の方法にしたがって年齢査定を行った。年齢の表記に関しては8月1日を誕生日として表示し、成熟率の算出には加齢の基準日前の標本を使用したので注意が必要である。たとえば、1歳の成熟率とは、孵化から2年目の成熟率となる。

報文番号 A397 (2006年1月30日受理)

*1 北海道立中央水産試験場 (Hokkaido Central Fisheries Experimental Station, Yoichi, Hokkaido 046-8555, Japan)

*2 北海道立栽培漁業総合センター (Hokkaido Institute of Mariculture, Shikabe, Hokkaido 041-1404, Japan)

Table 1 Number of samples of Pointhead Flounder(*Hippoglossoides pinetorum*)

Year	Gear	Month	Depth (m)	Number of tows	Number of fish and size (Total length)			
					Female		Male	
					Number of fish	Size of range (mm)	Number of fish	Size of range (mm)
1999	BT*	May	25	7	100	107 - 229	61	79 - 201
		Sep.	85	1	4	88 - 116	3	88 - 103
		Nov.	75-85	2	19	92 - 114	40	85 - 185
	OT*	May	25-95	6	166	102 - 305	158	109 - 260
		Jul.	25-105	8	422	85 - 342	373	80 - 252
		Sep.	25-105	3	66	93 - 232	110	83 - 257
		Nov.	75-95	3	304	87 - 294	189	86 - 236
2000	BT	Mar.	25-55	2	8	99 - 120	5	92 - 146
		Apl.	25	2	18	101 - 160	25	102 - 153
		May	25-65	4	29	114 - 248	34	90 - 225
		Jun.	25-95	8	34	117 - 225	45	123 - 221
	OT	Mar.	75-155	4	178	111 - 257	171	113 - 252
		Apl.	65-135	5	203	107 - 301	105	103 - 254
		Jun.	45-95	5	234	122 - 280	214	103 - 238
		Aug.	65-95	4	116	84 - 292	192	87 - 259
		Oct.	85-95	2	34	97 - 266	34	97 - 248
		Nov.	25-115	5	141	99 - 272	84	102 - 242
2001	OT	Feb.	25-85	5	8	115 - 209	4	114 - 156
Total				76	2084	1847		

* BT:Beam trawl, OT:Otter trawl.

2. 成熟度の判別

ソウハチの組織学的観察による性成熟に関する知見は他の海域でも見あらず、本研究では石田・北片⁷⁾がソウハチと同属のアカガレイに用いた組織学的観察と合わせた肉眼観察による熟度判定方法を参考にして以下に示す規準で判別を行った。雌ではStage (以下, S₁, S₂, ... S_n とする) は卵巣が極めて小さく卵粒が認めがたい状態, S₁ は卵巣がS₂ ほど小さく卵粒が認めがたい状態, S₂ は卵巣が肥大し卵粒が容易に認められる状態, S₃ は卵巣が最大となり完熟卵が混入した状態, S₄ は放卵中の状態で卵巣の大きさはS₃ より小さい, S₅ は放卵を完了し卵巣が収縮した状態である。このうちS₃ 以上を成熟個体とした。雄ではS₁ は精巣が小さく白色透明か褐色の状態, S₂ は精巣がS₃ よりかなり大きく乳白色不透明な状態であり, S₃ を成熟個体とした。すべての標本について雌雄別に成熟と未成熟に分類し、それぞれのGSIを算出し月別に集計した。

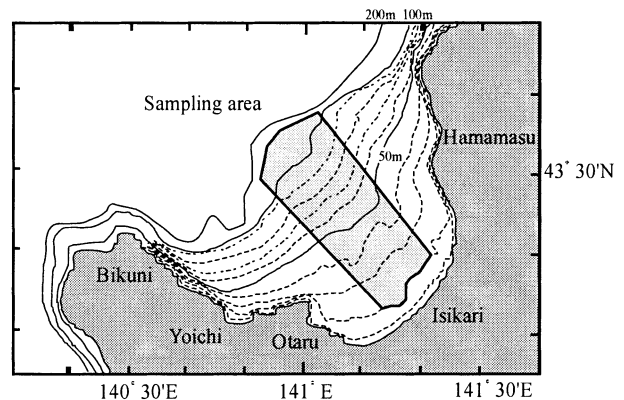


Fig.1 Location of the beam trawl or otter trawl sampling.

3. 成熟全長および年齢

石田・北片⁷⁾はアカガレイの卵の成熟段階を詳細に調べ、成熟個体の卵では産卵盛期の5ヶ月前には第1次卵黄期まで発達することを明らかにし、この時期のGSIの平均値は3.4となり、未成熟とされる周辺後期の0.8に比べて高い値となっている。また、クロガレイでも、山本⁸⁾は産卵期の4ヶ月前には卵が第1次卵黄期に達することを明らかにしている。アカガレイと同属であるソウハチの性成熟においてもこれらの異体類と大差はないと考えられ、産卵期の4ヶ月前の2月には成熟個体の卵は第1卵黄期に達し成熟を判別できるとした。また、産卵期後では産卵や放精後の個体を目視観察する際に見誤りを生じやすいことが知られている⁹⁾。したがって、全長ごとの成熟率の推定には産卵期前の2~5月の標本(雌710, 雄563個体)を用いた。このときには全長階級10mm単位でデータを集計した。また、年齢ごとの成熟率の推定には、耳石を採取できた標本(雌531, 雄392個体)だけを用いた。

全長ごとの成熟率の推定には平松¹⁰⁾、東海¹¹⁾が網目選択曲線の推定で使用した最尤推定法を用いた。すなわち、全長階級 TL_j ($j=1, 2, \dots, k$) の成熟率を p_j で表し、成熟と未成熟の年齢別個体数をそれぞれ N_{mj} , N_{ij} で示すとき、最尤推定値は二項分布から次式で与えられる。

$$p_j = \frac{N_{mj}}{N_{mj} + N_{ij}} \quad (1)$$

さらに、 TL_j と p_j との間に次のような関係

$$p_j = \frac{1}{1 + e^{-(a+b \cdot TL_j)}} \quad (2)$$

が成り立つと仮定する。

ここで、 a (無次元) と b (1/mm) はそれぞれ定数と成熟率の全長の増加に関連する係数を示す。階級別標本が独立な無作為抽出であるとき、 N_{mj} は独立な二項分布にしたがうので、その同時確率から導かれる対数尤度 l は

$$l(a, b) = \sum_{j=1}^k [\ln(C_{N_{mj}}) + N_{mj} \ln(p_j) + N_{ij} \ln(1-p_j)] \quad (3)$$

となる。未知パラメータは最尤法で推定し、95%信頼区間は次式

$$2 \{ l(\hat{\theta}_1, \hat{\theta}_2, \dots, \hat{\theta}_k, \hat{\theta}_n) - l(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k, \theta_n) \} = \chi^2(0.05; 1) = 3.84146 \quad (4)$$

で推定する。ここで θ はパラメータとその最尤推定値を示す。最尤推定値の探索にはMS-EXCELのソルバーを用いた。50%成熟全長(以下、 $L_{50\%}$ とする)は次式で計算し、その95%信頼区間も同様に計算した。

$$TL_{50\%} = -a/b \quad (5)$$

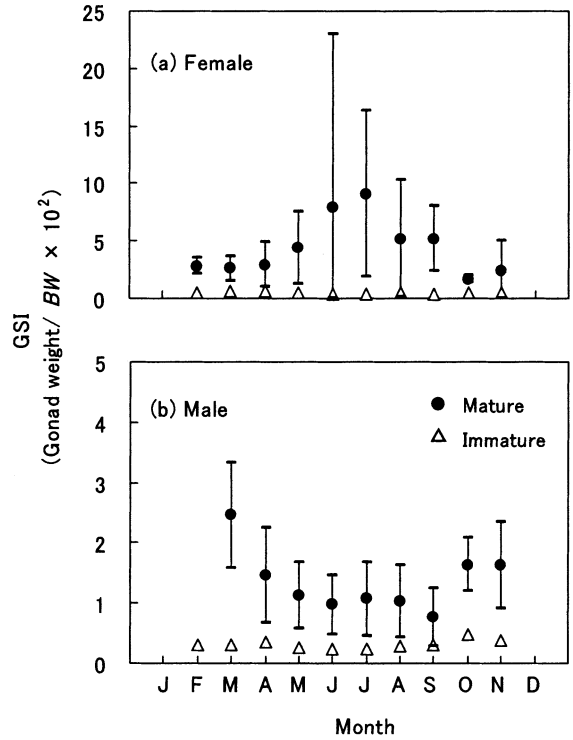


Fig.2 Monthly change of the gonad somatic index (GSI). Vertical bars show standard deviations. (a)female, (b)male

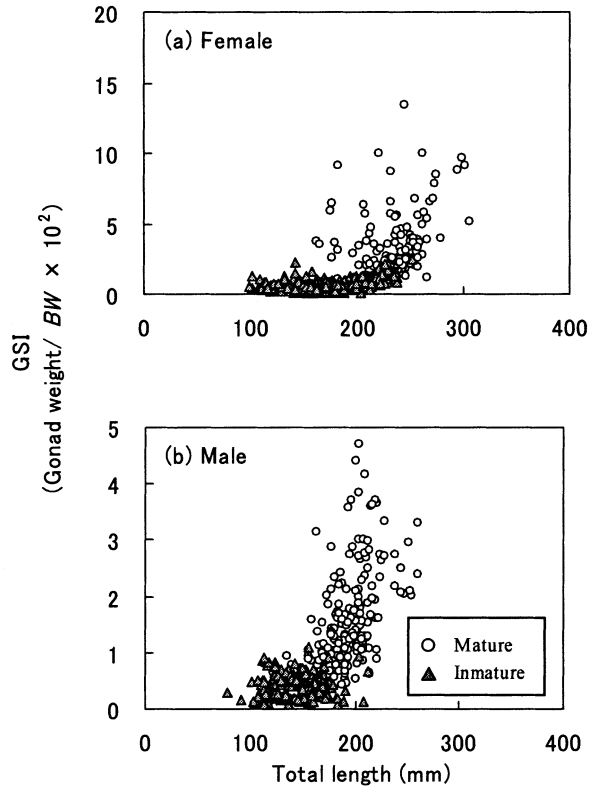


Fig.3 Relationship between total length and gonad index (GSI). (a)male, (b)female

結 果

1. GSIの月変化

月別のGSIの変化を雌雄別にFig.2に示した。雌の成熟個体のGSIの平均値は10月が最も低く、2月頃から徐々に増加し7月に最も高くなりその後減少した。雄の成熟個体のGSIの平均値は3月に最も高くその後減少し、5月から9月まで低い値で推移した。これに対して未成熟個体のGSIの平均値は雌雄ともに1年を通して低い値であった。2月から5月における標本の全長とGSIの関係を雌雄別にFig.3に示した。雌では全長160mm,雄では全長150mmを超えてからGSIが急激に増加していることがわかった。

2. 成熟全長および年齢

パラメータの推定結果をTable 2に示す。全長と成熟率の関係を雌雄別にFig.4に示した。雌では全長165mm,雄では全長115mmから成熟個体が現れ、あてはめたロジスティック曲線は実測値の変化と良く一致した。

Table 2 Maximum-likelihood estimates of parameters (a, b) in logistic equation (2) expressing maturity rate as a function of total length. Prediction of length at 50% maturity ($L_{50\%}$).

Sex	Number of data	Parameter		$L_{50\%}$ {mm}
		a {Dimensionless}	b {1/mm}	
Female	710	-16.1 (0.54)	0.074 (0.002)	217 (15)
Male	563	-14.9 (0.53)	0.088 (0.002)	170 (12)

* The values in parentheses indicate 95% confidence interval.

Table 3 Maturity rate of Pointhead Flounder of female and male at each age.

Age	Female			Male		
	Immature	Mature	Maturity rate	Immature	Mature	Maturity rate
0	5	0	0.00	3	0	0.00
1	190	0	0.00	144	29	0.17
2	168	46	0.21	57	95	0.63
3	25	58	0.70	4	52	0.93
4	1	28	0.97	0	7	1.00
5	0	7	1.00	0	1	1.00
6	0	3	1.00	0	0	-

年齢と成熟率の関係を雌雄別にTable 3に示した。雌では1歳の成熟個体は見られず2歳から成熟個体が現れ、

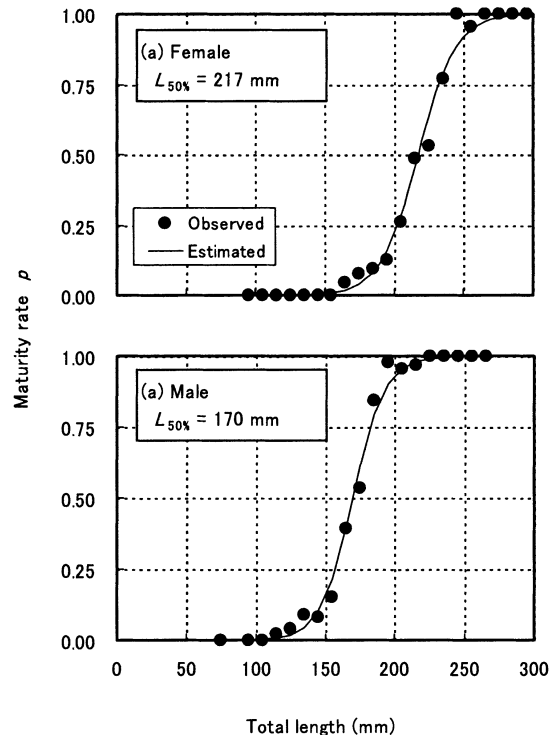


Fig.4 Relationship between total length and maturity rate. (a)female, (b)male

成熟率は2歳で21%、3歳で70%、4歳で97%となった。これに対して雄では1歳から成熟個体が現れ、成熟率は1歳で17%、2歳で63%となり3歳で93%となった。

年齢ごとの成熟率は資源解析において産卵親魚重量の算出に利用されるので、特に雌の成熟率については慎重な検討が必要である。そこで、成熟の全長依存性をみるために比較的標本数の多い1996、1997年級群について成熟曲線を異なる年齢および年級群間で比較しFig.5・a~cに示した。このときの全長階級の幅を20mmとした。3つの成熟曲線はともに全長170mmから成熟個体が現れ始め、 $L_{50\%}$ はともに全長210~220mmの範囲の値となった(Fig.5・a~c)。3つの成熟曲線の差を見るために、3つを別々(この場合、対数尤度 l は3つの対数尤度の合計、パラメータ数 p は6)または年級や年齢を区別せずにまとめた場合(この場合、 p は2)について、有限修正を行った情報量基準 $c-AIC$ (correction of AIC)^{2,13)}の値を次式によって計算し両者を比較しモデル選択を行った。

$$c-AIC = -2l + 2p + \frac{2p(p+1)}{(n-p-1)} \dots\dots\dots(6)$$

$c-AIC$ は前者が50.9であるのに対し後者が40.0と低い値となり、年級や年齢によって成熟曲線に差が見られないことがわかった。ここで、1996年級群の2、3歳での成熟率はそれぞれ28%、71%、1997年級群の2歳での成熟率は

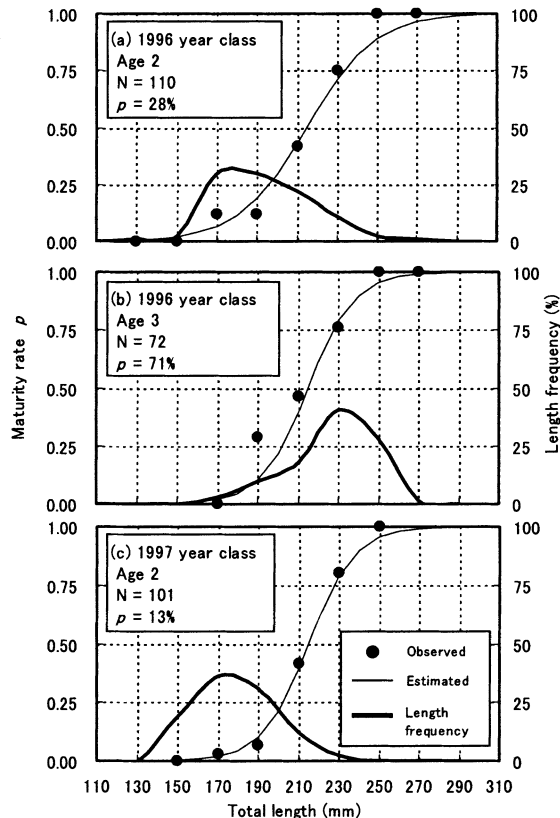


Fig.5 Relationship between total length and maturity rate of female at each age group. (a) Age 2 (1996 year class), (b) Age 3 (1996 year class), (c) Age 2 (1997 year class), dash lines show length frequency. The value of ρ indicate the total maturity rate as percentage (%)

は13%となり、同じ2歳でも1996年級群のほうが成熟率は高くなった (Fig.5-a, c)

考 察

1. 標本と推定方法

本研究では、漁業とは独立した調査船調査による標本を使ってソウハチの成熟全長および年齢について明らかにした。漁獲物標本を用いる場合には、産卵期などある特定の時期に偏ったり、漁獲選択性や人為的選別によって標本が大型個体に偏ったりすると考えられる。本研究では、ほぼ1年を通して標本を得ることができ、小型個体も網内に保持できるように小目合を用い、対象サイズにあわせて仕様の異なる採集漁具を使い分けるなど、漁具のサイズ選択性の組成への影響を可能な限り少なくした。また、産卵期には成熟個体と未成熟個体の地理的分布が異なることが予想されるが、本研究では、産卵期前の2～5月の標本を用いたので、このような偏りは少ないと考えられる。これらのことから、本研究では漁獲物標本よりも偏りの少ない標本を使用できたといえる。ま

た、パラメータの推定には最尤法を用いたので、全長階級ごとの標本数の多寡が推定に影響することはないと考えられる。

2. 成熟判別

本研究では成熟度の判別には2～5月の標本を用いた。GSIの月変化から雌では10月に1.7と最低となり2月には2.8と増加したことから、成熟個体の卵の成長は2月時点でアカガレイ⁷⁾と同様に周辺仁期や卵黄期より先まで進行していたと推察され、肉眼観察による成熟度判別には見誤りはほとんどなかったと考えられる。しかしながら、魚類の成熟過程、産卵期および成熟度について調べる場合、最良なのは組織学的観察方法である。成熟度判別ではアカガレイ⁷⁾のように未成熟のS-1と成熟のS-2では判別に誤りが生じることが組織学的に示されている。本研究でも特に産卵期後には肉眼観察による成熟個体と未成熟個体のGSIが近い値となり、この時期には見誤りの可能性は否めない。近年では肉眼観察やGSIによる成熟度判別の誤認を確率的に捉えた研究もあり^{14,15)}、今後は組織学的観察によりソウハチの成熟過程を明らかにし、成熟度判別で誤認する割合を定量的に把握していきたい。

3. 産卵期

日本海からオホーツク海に分布するソウハチの主な産卵場として考えられている石狩湾での産卵期は卵仔魚の採集状況などから判断して5月から9月(盛期は7月から8月)と比較的長いことが明らかになっている³⁾。本研究では、雌のGSIが3月以降増加し6,7月に高い値を示した後、8月以降では低い値となった。このことは本海域のソウハチの産卵盛期が6月から8月であることを示唆する。しかしながら、雄のGSIは産卵期以前の3月が最も高くその後減少傾向となった。異体類では、日本海南西部のソウハチ、ヤナギムシガレイで雄のGSIが産卵期の数ヶ月前から減少傾向となることが報告されている^{16,17)}。山崎らは、雄のヤナギムシガレイのGSIが産卵期に減少する理由は精子形成過程の質的变化によるもので、重量が減少しても生殖腺内の精子の充満度は産卵期にかけて最高となっていくと推測している¹⁷⁾。他の魚類でも雄では成熟の進行にともなってGSIは増加するが、成熟段階の第4期の初期に最大に達した後、繁殖期に向かって減少傾向となることが多いとされている¹⁸⁾。今後、生殖腺の組織観察等で確認する必要があるが、本海域のソウハチについてもこれと同様と考えられる。

4. 全長と成熟率

成熟全長および年齢について他海域と比較すると、島根県沖日本海では成熟する生物学的最小形および年齢が雌で全長230mm(2歳),雄で全長136mm(1歳), $L_{50\%}$ が雌で250mm,雄で195mmと報告されている¹⁶⁾のに対し、本海域の生物学的最小形および年齢は雌で165mm(2歳),雄で115mm(1歳), $L_{50\%}$ が雌で217mm,雄で170mmとなり、本海域のソウハチの成熟全長は島根県沖の日本海と比べて小さいことがわかった。成熟曲線については、推定した曲線は成熟率の実測値の変化を良く追従しているため、全長階級別の成熟率の算出にはこの成熟曲線を十分に活用できると考えられる。現在、北海道では沖合底びき網漁業者と刺し網漁業をはじめとした沿岸漁業者との間の資源管理協定によって、体長15cm以下(全長18cm)の漁獲を自主規制している。この全長での成熟率を(2)式から計算すれば、成熟率は雌では6%,雄では71%となり雌雄で成熟率に大きな差があり雌の成熟率が著しく低いことがわかった。今後は、本研究で得られた成熟率を使って加入乱獲を判断する際の指標となるSPR(加入量あたりの産卵量)解析等により資源診断を行うことができる。

5. 年齢と成熟率

Table 3に示した年齢と成熟率の関係から雌では2歳から、雄では1歳から成熟を開始し、雄のほうが雌よりも1歳早く成熟し始めることがわかった。他の海域と比較すると、島根県沖の日本海では成熟開始年齢が雌で2歳,雄で1歳と報告されており本海域と一致している。

Fig.5に示したように成熟曲線は年齢や年級による差は見られず、全長に強く規定されることがわかった。Fig.5には同時に全長組成を描いたが、この図から、年齢 a での成熟率 P_a は全長組成 ${}_a(l)$ と全長別成熟率 $p(l)$ との積をすべての全長階級について合計した値すなわち次式で表現できると考えられる。

$$P_a = \int_0^{\infty} {}_a(l) \cdot p(l) dl \dots \dots \dots (7)$$

2歳での成熟率は1996年級群(28%)のほうが、1997年級群(13%)よりも高くなったのは、1996年級群の ${}_a(l)$ が1997年級群より大きいほうに膨らんだためと考えられる。魚類では、成熟は全長に依存し成熟全長の年級群による差がないことが多く、年級群によって体成長に差がある場合には年齢別の成熟率に差が生じる^{19,20)}と考えられている。本海域におけるソウハチの成熟は全長に依存し、年齢あるいは年級群ごとの成熟率はその全長組成に大きく影響されることがわかり、この説を支持する結果となった。このことから、資源解析において産卵親魚重量の

正確な算出には年級群ごとの全長組成を正確に把握することが重要と考えられた。

要 約

1. 生物学的最小形および年齢は雌で165mm(2歳),雄で115mm(1歳),50%成熟全長は雌で217mm,雄で170mmと推定された。
2. 成熟曲線は年齢や年級による差は見られず、全長に強く規定されることがわかった。
3. 年齢別の成熟率は全長組成によって強く影響され、本研究の標本では、雌では2歳で21%,3歳で70%,4歳で97%となり、雄では1歳で17%,2歳で63%,3歳で93%となった。

文 献

- 1) 北海道水産林務部:平成15年度北海道水産現勢.7-57(2005)
- 2) 富永 修,小池幹雄,田村真樹,三宅博哉,三原行雄:石狩湾における底魚類の生産構造 第一報 春季における底魚類の群集構造と分布様式の類型化.北水試研報.30,1-18(1988)
- 3) Tominaga O, Watanobe M, Hanyu M, Domon K, Watanabe Y and Takahashi T: Distribution and movement of larvae, juvenile and young of the pinthead flounder *Hippoglossoides pinetorum* in Ishikari Bay and vicinity, Hokkaido. *Fish. Sci.* 66, 442-451(2000)
- 4) Tominaga O and Watanabe Y: Movement of tagged pinthead flounder *Hippoglossoides pinetorum* off Tomari, Shiribeshi, Hokkaido (Short paper). *J. Hokkaido Fish. Exp. Stan.* 44, 29-31(1994)
- 5) 富永 修:石狩湾におけるソウハチ未成魚の育成場について.水産海洋研究.53,29-33(1989)
- 6) Tominaga O, Inoguchi K, Watanabe Y, Yamaguchi M, Nakatani T and Takahashi T: Age and growth of pinthead flounder *Hippoglossoides pinetorum* in Ishikari Bay, Hokkaido. *Fish. Sci.* 62, 215-221(1996)
- 7) 石田カ一,北片正章:アカガレイ *Hippoglossoides dubius* (Schmidt)の雌魚の性成熟に関する研究.107,61-105(1982)
- 8) 山本喜一郎:海産魚類の成熟度に関する研究 - クロガレイの雌魚の成熟度について.北水研報告.11,52-64(1954)

- 9) 正木康昭, 伊東 弘, 上城義信, 横松芳治, 小川 浩, 山口義昭, 東海 正: 周防灘産メイタガレイの成熟と産卵期. 日本水産学会誌 . 53 ,1191-1198(1987)
- 10) 平松一彦: 最尤法による水産資源の統計学的研究 - パラメータ推定とモデル選択 - . 遠洋水研報 . 29 , 57-114 (1992)
- 11) 東海 正: MS-Excelのソルバーによる曳網の網目選択性Logistic式パラメータの最尤推定. 水産海洋研究 . 61 , 288-298 (1997)
- 12) Sugimura N: Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite corrections. Commun. Statist.-theor. Meth . 7 , 13-26 (1978)
- 13) 庄野 宏: 情報量基準TICとcAICによるモデル選択の有効性. 遠洋水研報 . 38 , 21-28 (2001)
- 14) Dickerson T. L, Macewicz B. J and Hunter JR: Spawning frequency and batch fecundity of chub mackerel, *Scomber japonicus*, during 1985. Calif. Coop. Oceanic Fish. Invest. Rep . 33 ,130-140(1992)
- 15) 依田真里, 大下誠二, 檜山義明: 漁獲統計と生物測定によるマアジ産卵場の推定. 68 , 20-26 (2004)
- 16) 道根 淳: ソウハチの成熟と産卵. 西海ブロック底魚調査研究会報 . 5 , 4-5 (1994)
- 17) 山崎 淳, 大木 茂: 若狭湾西部海域におけるヤナギムシガレイの産卵期と成熟サイズ. 京都府立海洋センター研究報告 . 25 , 1-8 (2002)
- 18) 隆島史夫, 羽生 功: 水族繁殖学「水産養殖学講座 4」緑書房, 東京 . 35-64 (1989)
- 19) 山田作太郎, 田中栄次: 水産資源解析学. 成山堂, 東京 . 1-9 (1999)
- 20) 松宮義晴: 水産資源管理概論. 日本水産資源保護協会, 東京 . 27-28 (1996)