

# 石狩湾におけるソウハチの成長

板谷和彦<sup>\*1</sup>, 藤岡 崇<sup>\*2</sup>

Age and growth of pointhead flounder *Hippoglossoides pinetorum* in Ishikari Bay, western Hokkaido

Kazuhiko ITAYA<sup>\*1</sup> and Takashi FUJIOKA<sup>\*2</sup>

This paper investigates age and growth of pointhead flounder *Hippoglossoides pinetorum* in the Ishikari Bay, western Hokkaido. The samples were collected from May 1999 to May 2005 using beam trawl and bottom trawl gears of RV *Oyashio*. Ages were estimated from the number of opaque zones in otoliths, and a presumed birth date of 1 Aug. The von Bertalanffy growth formula fitted to total length  $TL(t)$  or body weight  $BW(t)$  at age  $t$  data were  $TL(t)=331(1-e^{-0.29(t-(-0.081))})$  for female,  $TL(t)=263(1-e^{-0.43(t-0.035)})$  for male,  $BW(t)=358(1-e^{-0.29(t-0.002)})^3$  for female,  $BW(t)=151(1-e^{-0.46(t-0.122)})^3$  and for male. Using the conventional growth formula (Tominaga et al. 1996) causes young fish stock (Age 2 and 3) to be underestimated in contrast to use the result of this study in stock assessments.

キーワード：ソウハチ，石狩湾，年齢，全長，成長式，重み付け最小二乗法

まえがき

北海道では，日本海からオホーツク海に分布するソウハチ *Hippoglossoides pinetorum* に対して，コホート解析により推定した資源量を基準にして資源評価が行われている<sup>1,2)</sup>。資源解析・管理には年齢と成長<sup>3)</sup>（全長，体重）および成熟割合<sup>4)</sup>といった資源特性に関する値を用いるが，これまで使用されてきた年齢と全長に関する成長式では若齢個体で特に測定値が理論値とかけ離れることが調査時の魚体測定を通じて多く見受けられる。この成長式は Tominaga et al.<sup>3)</sup> が耳石の輪紋長から各齢の全長を逆算することで求められており，1，2歳といった若齢個体で観測値よりも過少推定となり，年齢とともにその差は小さくなるとしている。しかし，本資源の特徴として2，3歳といった若齢個体の資源尾数が全体（2歳以上）の約8割（2003年度の資源評価で1996～2000年の平均値）を占めることから<sup>2)</sup>，資源評価において過少推定された資源特性値の適用は望ましくない。したがって，より正確な資源重量を推定するために母集団を反映した成長式が求められている。

Tominaga et al.<sup>3)</sup> が用いた手法は耳石の各輪紋長から

各齢の全長を逆算する方法<sup>5)</sup>で，若齢個体の標本が得られなくても高齢個体の耳石の各輪紋長から若齢時の全長を推定できるといった利点がある。しかし，耳石の不透明帯の形成時期が年齢や成熟を問わず一致することが前提であるが，北海道周辺の異体類ではオホーツク海におけるマガレイやえりも以西太平洋海域のソウハチで成熟状態や年齢によって耳石の不透明帯の形成時期が異なることが明らかとなっており<sup>6,7)</sup>，Tominaga et al.も若齢時に過少推定となるのは耳石の不透明帯の形成時期が異なるからと推察している<sup>3)</sup>。したがって，本海域のソウハチにおいても耳石の輪紋長から各齢の全長を逆算する場合には，不透明帯の形成時期を年齢ごとに確認する必要がある。

一方，若齢から高齢までの標本が得られれば，五利江が提案した最小二乗法や最尤法による成長式のパラメータ推定方法<sup>8)</sup>や赤嶺が提案した重み付け最小二乗法<sup>9)</sup>を用いることができる。後者の方法では，標本採集時の同一コホートの個体数，平均サイズのデータを使い，分散により重み付けした最小二乗法によりパラメータを推定する。この方法では，モデルの適合度の判断および各パラメータの区間推定も容易にできる。

報文番号 A398 (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)

本研究では選択性の影響をできる限り少なくするために、漁業による標本を用いずに調査船での採集調査のみにより当歳から高齢個体の標本を収集し、年齢と全長および体重に関する成長式のパラメータを重み付け最小二乗法により求めた。

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2005年5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1,364,雄1,478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

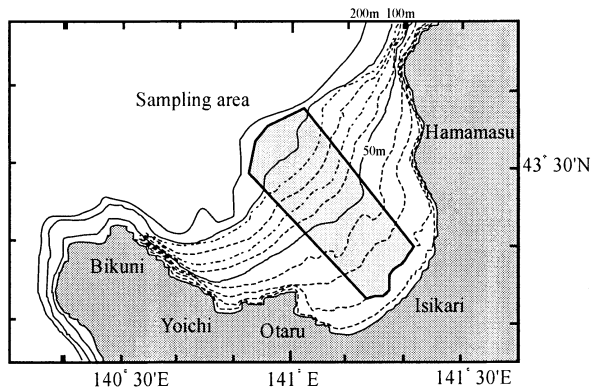


Fig.1 Location of the beam trawl or otter trawl sampling.

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

Year	Gear	Month	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*, OT*	May	322	85 - 305	290	97 - 260
2000	BT, OT	Apl.	220	101 - 301	129	102 - 254
	BT	May	28	114 - 248	34	90 - 225
2001	OT	Aug.	116	84 - 292	192	87 - 259
	BT	May	15	128 - 255	21	111 - 186
	BT	Jul.	32	68 - 231	43	66 - 245
	OT	Aug.	112	76 - 283	275	79 - 257
2002	OT	Oct.	108	85 - 259	136	82 - 256
	BT	May	32	103 - 256	82	95 - 240
	OT	Jul.	122	126 - 279	92	118 - 252
2003	BT	May	41	135 - 255	46	152 - 233
2004	BT	May	24	126 - 284	13	122 - 242
	OT	Sep.	27	134 - 311	19	151 - 237
2005	OT	Mar.	140	173 - 302	84	189 - 264
	BT	May	25	114 - 283	22	130 - 260
Total			1,364		1,478	

\* BT:Beam trawl, OT:Otter trawl.

し, Tominaga *et al.*<sup>10)</sup>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), (電子天秤により0.1g単位)を計測し, 生殖巣の肉眼観察により性を調べ, 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.*<sup>3)</sup>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た。

2. 成長曲線のあてはめ

年齢  $t$  と体サイズ  $w(t)$  ( $w$ は全長の場合  $TL$ , 体重の場合  $BW$ となる) に関する成長式として以下に示した von Bertalanffy式を用いた。

$$w(t) = w \cdot (1 - e^{-k(t-t_0)}) \dots\dots\dots(1)$$

ここで,  $w$  は極限サイズ,  $k, t_0$ はパラメータである。

は全長の場合には  $n = 1$ , 体重の場合には  $n = 3$ を代入する。曲線のあてはめは赤嶺<sup>9)</sup>にしたがい以下のように行った。各測定時刻  $t_i$ における同一コホートの個体数  $n_i$ , 全長または体重の平均値  $u_i$ および分散  $s_i^2$ を求め ( $i = 1 \sim k$ ) これらから平均値  $u_i$ の分散  $s_i^{2*}$ を

$$s_i^{2*} = \frac{s_i^2}{n_i} \dots\dots\dots(2)$$

によりそれぞれ計算し, 代表データとして  $k$ 個の ( $t_i, u_i, s_i^{2*}$ )を得る。目的関数  $Y$ を  $s_i^{2*}$ で重み付けた以下のような最小二乗法を用いる。

$$Y = \sum_{i=1}^k \frac{\{w(t_i) - u_i\}^2}{s_i^{2*}} \dots\dots\dots(3)$$

これを最小にする3つのパラメータ値 ( $w, k, t_0$ )を計算した。パラメータの95%信頼区間は信頼域

$$Y_0 = Y_{min} + \chi^2(3)_{0.05} \dots\dots\dots(4)$$

を満たす  $Y_0$ を与えるパラメータ値の集合となる ( $\chi^2(3)_{0.05} = 7.815$ )。この制約条件下を与えて,  $w, k, t_0$ を最大, 最小にするような  $w', k', t_0'$ を推定し, 各パラメータの信頼区間を求めた。パラメータ値の探索にはMS・EXCELのソルバーを用いた。

解析に使用した全長と体重に関する代表データを雌雄別に Table 2に示した。年間を通じて標本採集を行ったので, 測定時の年齢を以下のようにグループ化し代表値としてあらわした。1歳から3歳までについては, 8月はその年齢を適用, 9~10月は0.2を3月は0.6を4~5月は0.8を7月は1.0をそれぞれの年齢に加えた。4歳以上は標本数も少なく成長が鈍化することから, 8~10月はそ

の年齢を適用，3月は0.6を4～7月は1.0をそれぞれ年齢に加えた。

Table 2 The data of total length and body weight of Pointhead Flounder (*Hippoglossoides pinetorum*) for von Bertalanffy's growth formula.

i	age $t_i$	Female						Male					
		Total length (mm) <sup>*1)</sup>		Body weight (g) <sup>*2)</sup>		Total length (mm)		Body weight (g)					
		$n_i$	$TL_i$	$\sigma_{li}$	$BW_i$	$\sigma_{wi}$	$n_i$	$TL_i$	$\sigma_{li}$	$BW_i$	$\sigma_{wi}$		
1	1.0	39	93	12.2	6	2.7	61	94	11.5	7	2.6		
2	1.2	49	109	11.5	10	3.3	53	107	12.0	9	3.3		
3	1.8	262	131	16.2	20	9.5	306	128	17.3	19	9.9		
4	2.0	195	160	16.7	34	11.5	235	157	15.6	33	10.9		
5	2.2	41	172	17.2	40	13.2	49	162	16.7	35	10.9		
6	2.8	293	182	23.9	58	26.9	244	174	18.4	49	17.7		
7	3.0	91	207	19.9	80	27.7	237	196	15.3	65	16.4		
8	3.2	33	205	23.0	74	26.5	45	196	16.8	61	17.9		
9	3.6	33	229	21.8	116	34.1	26	214	15.8	93	15.5		
10	3.8	100	239	19.9	119	35.4	71	212	24.4	87	25.5		
11	4.0	56	239	19.2	131	39.2	62	218	17.7	92	25.7		
12	4.6	90	247	17.5	132	34.7	39	229	13.4	103	18.6		
13	5.0	54	253	16.9	156	40.1	26	227	17.7	111	24.4		
14	5.6	12	263	29.0	155	67.4	12	232	10.3	107	15.1		
15	6.0	7	280	16.2	221	46.9	5	239	4.9	113	10.8		
16	6.6	6	261	11.8	197	42.0	7	233	16.3	107	21.2		
17	7.0	3	285	11.6	261	37.5	-	-	-	-	-		

\*1:  $t_i$ : Mean total length at age  $t_i$ ,  $\sigma_{li}$ : Standard deviation at age  $t_i$   
 \*2:  $w_i$ : Mean body weight at age  $t_i$ ,  $\sigma_{wi}$ : Standard deviation at age  $t_i$

結果

1. 成長式

全長または体重に関する成長式のパラメータの推定結果をTable 3, 4にそれぞれ示した。また，全長または体重の成長曲線を測定値の分布とあわせてそれぞれFig.2, 3に示した。2歳までは雌雄による成長差は見られず，3歳以降から差が大きくなり，極限全長  $L$  は雌で331mm，雄で263mm，極限体重  $W$  は雌で358g，雄で151gといずれも雌のほうが大きく成長することがわかった。全長の分散は，雌雄とも加齢とともに大きくなり3歳くらいを

ピークに減少するよう見える。体重の分散に関しては，加齢とともに5歳くらいまでは大きくなるが，雌のほうが雄より大きくなった。

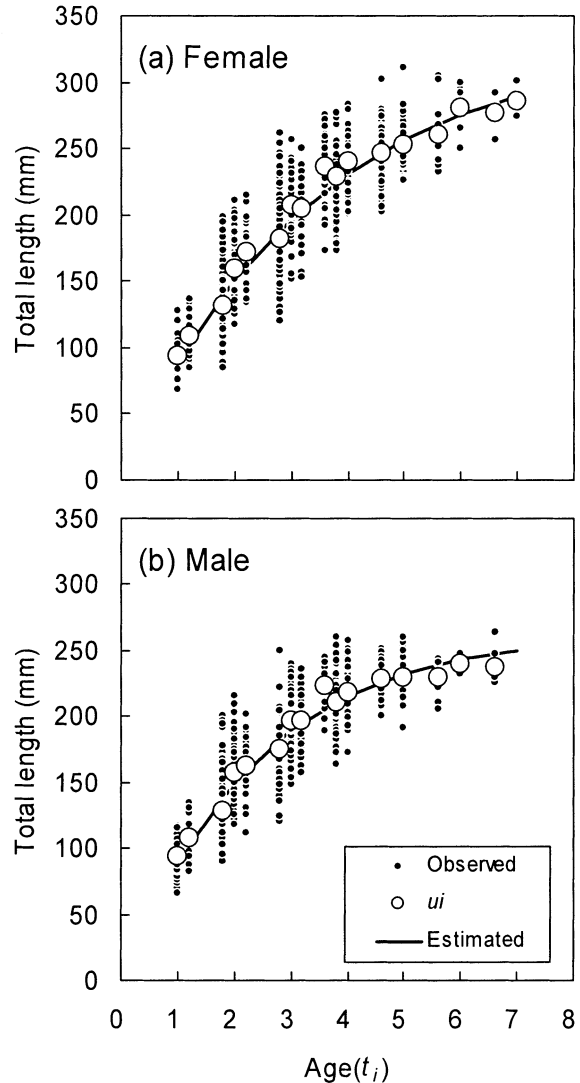


Fig.2 Observed total length at age and relationship of age to total length predicted from von Bertalanffy growth formula for Pointhead Flounder (*Hippoglossoides pinetorum*). (a)Female, (b)Male

Table 3 Estimated parameters in von Bertalanffy's growth formula (age and total length) by weighted least squares method.

Sex	Number of data	Parameter			$Y_{min}$
		$TL_{\infty}$	$k$	$t_0$	
Female	1,364	331 (314~340)	0.29 (0.25~0.34)	-0.081 (-0.213~-0.035)	250
Male	1,478	263 (257~270)	0.43 (0.39~0.47)	0.035 (-0.061~0.122)	356

\* The values in parenthesis indicate 95% confidence interval.

Table 4 Estimated parameters in von Bertalanffy's growth formula (age and body weight) by weighted least squares method.

Sex	Number of data	Parameter			$Y_{min}$
		$W_{\infty}$	$k$	$t_0$	
Female	1,364	358 (314~340)	0.29 (0.25~0.34)	0.002 (-0.213~-0.035)	140
Male	1,478	151 (138~163)	0.46 (0.42~0.51)	0.122 (0.024~0.214)	208

\* The values in parenthesis indicate 95% confidence interval.

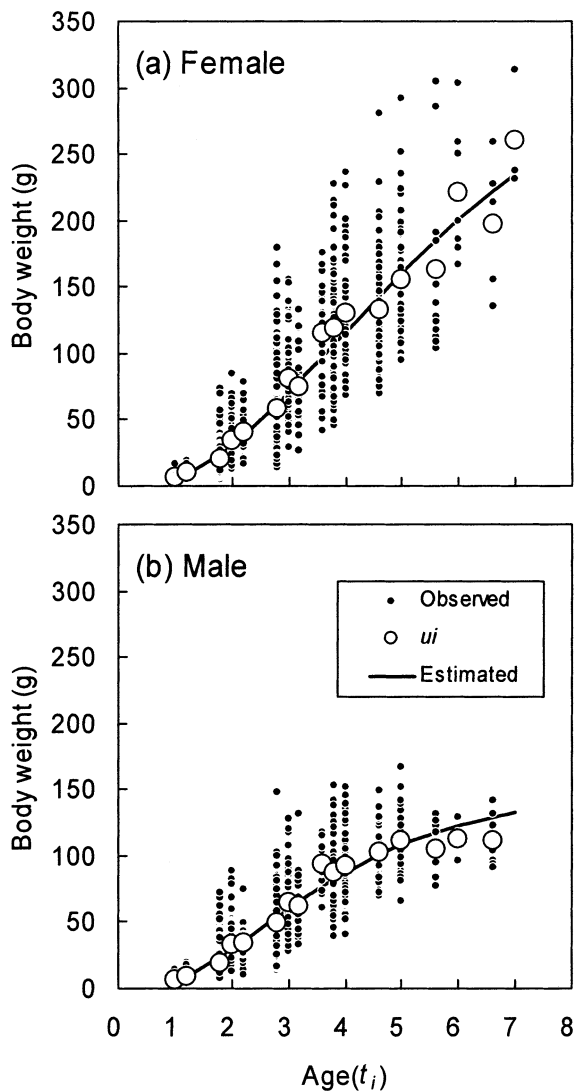


Fig.3 Observed body weight at age and relationship of age to body weight predicted from von Bertalanffy growth formula for Pointhead Flounder (*Hippoglossoides pinetorum*). (a)Female, (b)Male

2. 従来の成長式との比較

本研究で求めた各年齢の全長および体重を従来の成長式に<sup>3)</sup>よる結果とあわせてTable5にまとめた。従来の成長式については加齢の基準日を8月1日にあわせて表示し、体重については本研究の標本から求めた以下の式により全長から体重を推定した(雌1,364,雄1,478個体)。

$$BW_f = 3.03 \cdot 10^{-6} \cdot TL_f^{3.20} \dots\dots\dots(5)$$

$$BW_m = 3.87 \cdot 10^{-6} \cdot TL_m^{3.15} \dots\dots\dots(6)$$

雌雄ともに6歳までは本研究の成長式のほうが大きく、その差は若齢ほど大きく、年齢とともに差は小さくなり6~7歳にかけて逆転することがわかった。体重に関しては従来の成長式による結果は、本研究と比較して若齢個体ほど差が大きく2,3歳では雌で58,70%,雄で49,61%本研究よりも過小に推定されていることがわかった。

考 察

1. 標本と推定方法

年齢と成長について調べる場合には、サイズ選択の影響を受けていない標本の収集が前提となる。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成長式を求めた。調査では小型個体も網内に保持できるように小目目を用い、対象サイズにあわせてソリネットとトロールを使い分けるなど、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。さらに、データを1999~2005年までの長期間の標本としたので、同一年齢に複数年級群の情報が入ることから、年級豊度や環境変化による成長の年変化による影響は平均化されると考えられる。一方、Tominaga *et al.*<sup>3)</sup>の研究では若齢個体についてはソリネットによる採集標本を用いているが、3以上の大型個体では商業刺網による漁獲物を用いている。ソウハ

Table 5 Comparison between the results of this study and Tominaga *et al.*.

age $t_i$	Female					Male				
	This study		Tominaga <i>et al</i>		Body weight ratio	This study		Tominaga <i>et al</i>		Body weight ratio
	TL	BW	TL	BW		TL	BW	TL	BW	
1	90	6	69	2	0.41	89	6	68	2	0.41
2	152	31	130	18	0.58	150	29	122	14	0.49
3	197	70	178	49	0.70	190	60	163	36	0.61
4	231	116	218	93	0.80	215	87	195	64	0.73
5	257	161	249	144	0.89	232	108	220	93	0.86
6	276	201	274	196	0.97	243	123	239	120	0.98
7	290	235	295	246	1.05	250	133	254	145	1.09

チを対象とした刺網漁具では、網目選択性が比較的鋭いことが明らかにされている<sup>11)</sup>ことから、刺網漁具による標本の組成は母集団に対して大きな偏りを持つことが予想される。これらのことから、本研究ではこれまでの研究と比べて偏りの少ない標本を使用できたと考えられる。

パラメータの推定については、本研究では五利江、赤嶺が提案した最小二乗法パラメータ推定方法にしたがった。五利江は耳石長の計測誤差、Lee現象および耳石長と体サイズとの関係といった問題の多い耳石長から全長を逆算する方法と比べて、最小二乗法や最尤法におけるソルバーによる最適化法のほうが利点が多いとしていることから、本研究でのパラメータ推定は適切に行われたと考えられる。

2. 成長様式

雌雄の成長差は2歳まではほとんど差は認められないが、3歳以降では雌のほうが雄よりも大きくなった。このような雌雄差は山陰沖の日本海<sup>12)</sup>、北海道りも以西太平洋海域<sup>7)</sup>のソウハチの知見と一致した。このように成長が雌雄で異なることから、雌雄別に資源解析を行う必要がある。

全長に関する分散に明らかな雌雄差は見られなかったが、体重に関する分散は雄よりも雌のほうが大きくなった。これは、雌では雄に比べて生殖腺が成熟とともに飛躍的に大きくなることから<sup>4)</sup>、成熟度合いによる生殖腺重量のばらつきによると考えられる。

3. 従来の成長式との比較

従来の成長式は本研究に比べて若齢個体ほど過少推定となることがわかった。この違いが環境変動による成長様式の変化も理由としてあげられるが、原著の中では推定曲線と用いた標本組成との比較を行っておらず、資源の母集団を反映した結果がどうかは判断できない。これに対し、本研究ではサイズ選択による組成への影響をできる限り少なくして収集した標本を使用し、計算機を使ってパラメータを統計的に推定し、成長曲線も実測値の変化をよく追従している(Fig2, 3)ことから、得られた成長式は従来の式に比べて資源を反映していると考えられる。

本研究の成長式のほうが若齢ほど大きくなり、最大で雌では約2cm、雄で約3cmの差が見られた。全長分布のばらつきを見れば、この差は大きく見えないが、体重にすると50%以上も差が生じることがわかる。2, 3歳といった若齢個体は本資源の主体となるので、資源量を推定する際には重要となってくる。ここで、コホート解析による年齢別資源尾数(2003年度資源評価の1996~2000

年のデータ、漁獲死亡係数Fは雄が $F_t = 1.94$ 、雌が $F_t = 1.33$ 、自然死亡係数は雌雄ともに $M = 0.25$ とした)と2つの成長式から求めた年齢別平均体重との積により資源重量を求め比較した(Fig4およびTable6)。従来の成長式による2歳以上の総資源重量は2,580~3,400トンの範囲となるのに対して本研究では3,660~4,470トンの範囲となり、従来の成長式を用いた場合には本研究結果に比べて20~30%ほど過少に評価することがわかった。したがって、今後は資源重量の算出には本研究で求めた成長式を用いるべきである。さらに、資源重量は評価の基準だけではなく、資源解析における再生産関係(親子関係)、SPR, YPR解析、さらには生態系ピラミッドをベースにした環境モデルを考へるときにも必要となってくるので本研究結果は意義あるものと考えられる。

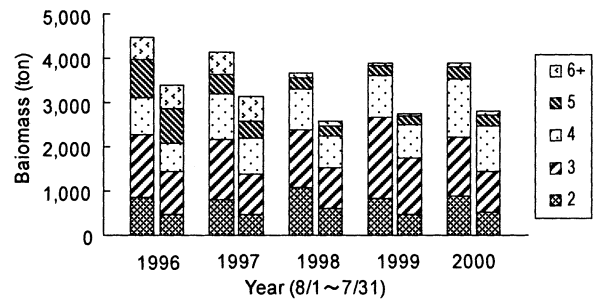


Fig.4 The annual biomass for age class of Pointhead flounder (*Hippoglossoides pinetorum*) in western Hokkaido and sea of Okhotsk (From Hiyama to Abashiri sub-prefecture). Left bar: Using this study's growth formula. Right bar: Using Tominaga et al.'s growth formula.

Table 6 The annual biomass for age class of Pointhead flounder (*Hippoglossoides pinetorum*) in western Hokkaido and sea of Okhotsk (From Hiyama to Abashiri sub-prefecture) using from each growth formula.

Growth formula	Age class	Biomass (ton)				
		Year				
		1996	1997	1998	1999	2000
This study	2	862	813	1,070	830	899
	3	1,422	1,350	1,312	1,831	1,333
	4	818	1,025	911	956	1,287
	5	862	447	270	215	297
	6+	509	516	95	59	62
	total	4,474	4,151	3,658	3,891	3,879
Tominaga et al. (1996)	2	481 (0.56)	463 (0.57)	609 (0.57)	475 (0.57)	514 (0.57)
	3	966 (0.68)	920 (0.68)	909 (0.69)	1,265 (0.69)	925 (0.69)
	4	645 (0.79)	811 (0.79)	725 (0.80)	762 (0.80)	1,029 (0.80)
	5	760 (0.88)	396 (0.89)	240 (0.89)	190 (0.89)	265 (0.89)
	6+	543 (1.07)	550 (1.07)	100 (1.05)	62 (1.05)	65 (1.05)
	total	3,395 (0.76)	3,140 (0.76)	2,582 (0.71)	2,754 (0.71)	2,798 (0.72)

\* The values in parenthesis indicate the ratio of biomass using from Tominaga's growth formula for this study.

## 要 約

1. 平均値の分散を使った重み付け最小二乗法により雌雄別に全長および体重に関する成長式を以下のとおり求めた。

年齢と全長

$$TL(t) = 331(1 - e^{-0.29(t-(-0.081))}) \quad (\text{雌})$$

$$TL(t) = 263(1 - e^{-0.43(t-0.035)}) \quad (\text{雄})$$

年齢と体重

$$BW(t) = 358(1 - e^{-0.29(t-0.002)})^3 \quad (\text{雌})$$

$$BW(t) = 151(1 - e^{-0.46(t+0.122)})^3 \quad (\text{雄})$$

2. これまでの成長式では若齢個体ほど過少に推定され、1996～2000年の資源重量は約30%過少に推定されていたことがわかった。

## 文 献

- 1) 北海道水産林務部：北海道水産資源管理マニュアル．19 (2004)
- 2) 板谷和彦, 村上 修：ソウハチ．平成16年度北海道立中央水産試験場事業報告書．8・11 (2005)
- 3) Tominaga O, Inoguchi K, Watanabe Y, Yamaguchi M, Nakatani T and Takahashi T: Age and growth of pointhead flounder *Hippoglossoides pinetorum* in Ishikari Bay, Hokkaido. *Fish. Sci.* 62, 215-221 (1996)
- 4) 板谷和彦, 藤岡 崇：石狩湾におけるソウハチの成熟全長と年齢．北水試研報．70, 81-87 (2006)
- 5) Carlander K. D: Caution on the use of the regression method of back-calculating lengths from scale measurements. *Fisheries* . 6, 2-4 (1981)
- 6) 西内修一：北海道北部沿岸枝幸海域におけるマガレイの成長．北水試月報．41 (3), 107-118 (1984)
- 7) 三原行雄：北海道えりも以西太平洋海域に分布するソウハチの年齢と成長．北水試研報．63, 21-32 (2002)
- 8) 五利江重昭：MS・Excelを用いた成長式のパラメータ推定．水産増殖．49 (4), 519-527 (2001)
- 9) 赤嶺達郎：魚類の成長式における検定とモデル選択．水産海洋研究．68 (1), 44-51 (2004)
- 10) Tominaga O, Watanabe M, Hanyu M, Domon K, Watanabe Y and Takahashi T: Distribution and movement of larvae, juvenile and young of the pointhead flounder *Hippoglossoides pinetorum* in Ishikari Bay and vicinity, Hokkaido. *Fish. Sci.* 66, 442-451 (2000)
- 11) 若山賢一：ソウハチに対するカレイ刺網の網目選択性と羅網機構．修士論文，北海道大学，pp58 (2005)
- 12) 道根 淳：日本海南西海域におけるソウハチの成長．西海ブロック底魚調査研究報告．4, 29-41 (1993)