

資源増大期における日本海西部海域産 ヤナギムシガレイの成長モデル

今井千文^{1†}, 伊藤玄子²

Growth model for willow flounder *Tanakius kitaharai* from western Sea of Japan during period of stock increase

Chifumi Imai^{1†} and Noriko Itoh²

Abstract : Revised growth models are proposed for willow flounder *Tanakius kitaharai* from western Sea of Japan, the population of which has been increasing in recent years. Annual rings of blind side sagittal otoliths were analysed and back-calculated length (TL : mm) equations derived from the otolith radii (R : mm); $TL = 3.3 + 110 \cdot R$ (males), $TL = 3.3 + 113 \cdot R$ (females) and $TL = 3.3 + 112 \cdot R$ (males and females). Von Bertalanffy growth models, $L_t = 249 \{1 - e^{-0.272(t+0.181)}\}$ (males), $L_t = 418 \{1 - e^{-0.168(t+0.432)}\}$ (females) and $L_t = 482 \{1 - e^{-0.130(t+0.368)}\}$ (males and females) fitted well to age-length relationships, using the non-linear least squares method. Each length at a given age was markedly greater than that reported from the same region in the 1960's.

Key words : otolith, *Tanakius kitaharai*, von Bertalanffy growth model, willow flounder

緒 論

カレイ類 (カレイ目カレイ科魚類) は日本周辺で操業する底曳網漁業において、非常に重要な漁獲対象である。日本海西部海域で操業する山口県下関漁港および島根県浜田漁港に在籍する農林水産大臣指定漁業の2隻曳沖合底曳網漁業 (以下では日本海西部沖合底曳網と呼称する) においてもカレイ類は漁獲量、漁獲金額ともに多い重要資源群であり、ムシガレイ *Eopsetta grigorjewi*、ヤナギムシガレイ *Tanakius kitaharai*、ソウハチ *Hippoglossides pinetorum*などが優占種である。

ヤナギムシガレイは北海道南部以南の日本周辺海域、東シナ海、黄海および南シナ海の水深100~200mの砂泥底域に生息し、全長35cm程度まで成長するカレイ類である。日本海西部沖合底曳網漁業によるヤナギムシガレイの漁獲は1990年代前半には20トン以下と極めて低水準であり、銘柄

区分もされずに水揚げされる混獲種であった。しかし、本種はその淡泊な味わいから乾製品として高価で取引される高級魚である。幸いなことに、1990年代後半以降、日本海西部沖合底曳網による漁獲量は増大し、2000年代には250トンを超えるまでに増加した。1998年に約380トンであった資源量は2001年に1000トンを超え、以後は1000トン以上の水準を維持 (今井:未発表資料) して、漁獲増は資源の回復によるもので、現在は資源増大期にあるといえる。しかし、資源を維持しながら漁獲するには資源管理が不可欠であり、資源生態学的情報の収集は急務である。

これまでにヤナギムシガレイの年齢と成長に関して数例の報告がある。¹⁻⁷⁾ 日本海西部海域では1960年代に中原²⁾が報告しているものの、最高齢の平均体長が約180mmであり、体長約260mmに達する大型個体が普通に水揚げされる近年の日本海西部沖合底曳網のヤナギムシガレイには適用できず、成長モデルの更新が必要である。また、カレイ類

2008年4月18日受付. Received April 18, 2008.

1 水産大学校海洋生産管理学科 (Department of Fisheries Science and Technology, National Fisheries University)

2 水産大学校海洋生産管理学科2006年3月卒業 (Department of Fisheries Science and Technology, National Fisheries University, graduated at March, 2006)

は尾鰭が截形であるため、近年では魚体に触れなくても計測可能な全長による体長測定が汎用されている。⁸⁾ 本研究では山口県下関漁港の日本海西部沖合底曳網漁業に水揚げされた大型魚を含むヤナギムシガレイ標本を対象に耳石解析により得た全長による成長モデルを提案する。

材料と方法

使用したヤナギムシガレイの標本は下関漁港において沖合底曳網漁業の水揚げ物を買上げた。同漁業の漁獲物は大きさ別に銘柄区分して箱詰めされて水揚げされ、買い上げは箱単位である。ヤナギムシガレイは高価なカレイであり、予算の制限から得られる標本箱数は限定的になった。したがって、産卵盛期と考えられる1～3月に集中し、2006年1月16日の3箱、132個体と2007年の2月1日の2箱、50個体および3月26日の1箱15個体、総個体数は197個体を使用した。全長 (TL) と標準体長 (SL) を1 mm単位まで、体重 (BW) および生殖腺重量 (GW) を0.1g単位まで測定した。生殖腺重量指数GIは、

$$GI = GW / TL^3 \times 10^7 \dots\dots\dots (1)$$

により計算した。

その後、耳石 (扁平石) を摘出して洗浄した後、シャーレの水中に置き、単光路型実体顕微鏡 (ライカ M420) の落射照明、暗視野条件により接続したデジタルカメラを用いて撮影した。無眼側の耳石画像を画像解析ソフトウェア (Image-Pro Plus ver. 3.01, Media Cybernetics, USA) を用いて輪紋測定を行った。測定部位は、耳石核から前方縁辺までの距離を耳石半径Rとし、耳石核から各不透明帯の外縁までの距離を輪紋半径 $r_1, r_2, r_3 \dots r_8$ とした (Fig. 1)。柳下⁴⁾の若狭湾での結果から、透明帯の完成を産卵期の1月～3月、不透明帯が半年後の7月～9月として、その1組を年輪とした。したがって、不透明帯の外縁を輪紋としたため、第1輪紋の形成時期は生後半年の0.5歳であり、以後の各輪紋は1歳ずつ加齢し、1.5歳、2.5歳、…7.5歳とした。

結 果

生物学的測定結果

これまでのカレイ類の体長測定には標準体長が多く使用されていた。本研究では魚体測定に全長を使用した。本種

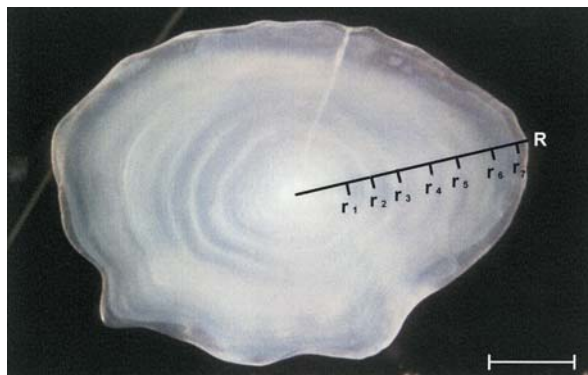


Fig. 1. Photograph of blind side sagittal otolith of willow flounder. R=otolith radius; r_1 - r_8 =ring radius. Scale bar is 1mm.

では明瞭な性的2型は認められなかったので、雌雄を込みにした全標本197個体について、全長と標準体長との関係をFig. 2に示す。標準体長から全長への換算式、

$$TL = 3.61 + 1.17 \cdot SL \dots\dots\dots (2)$$

が得られた。

全長-体重関係 (Fig. 3) は、

$$BW = 9.04 \cdot 10^{-6} \cdot TL^{3.00} \dots\dots\dots (3)$$

が得られた。式の指数がちょうど3であることから、ヤナギムシガレイは総体的にはほとんど同じ体型を保ったまま成長することが解る。ただし、全長250mm未満では多くの

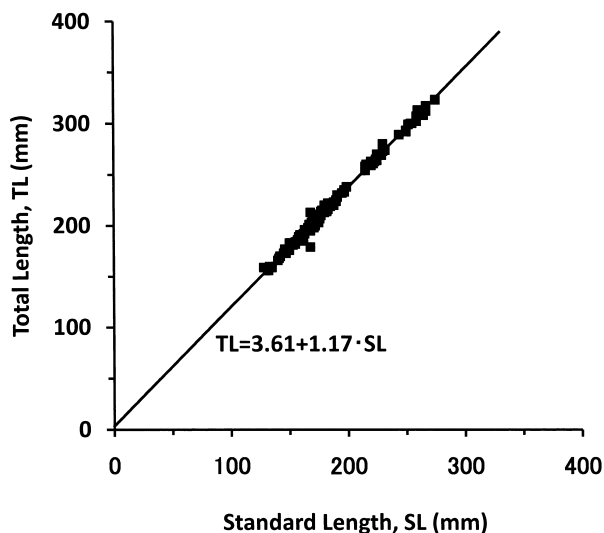


Fig. 2. Relationship between total length (TL) and standard length (SL) of willow flounder.

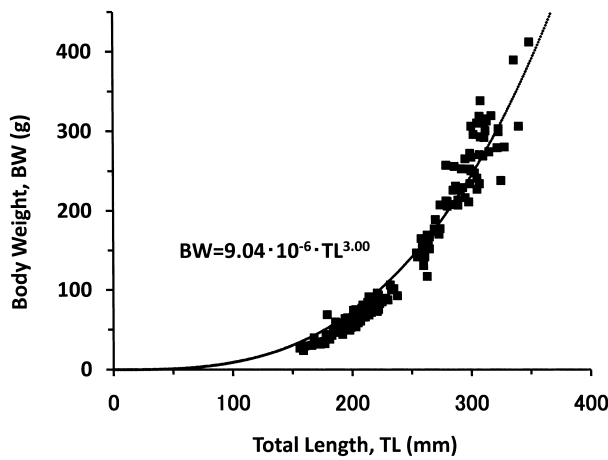


Fig. 3. Length-weight relationship of willow flounder.

プロットが曲線の下側に、250mm以上では上側に分布する傾向が認められた。

ヤナギムシガレイの雄は、標本に小型個体が含まれた2006年1月にのみ得られた。その雄の生殖腺重量指数GIはほとんどの個体で1以下と低い値を示し、最大でも1.4の低い水準であった。一方、雌のGI値は1.4から31.2の範囲で20を超える個体も多く、成熟度の高い状態であった。全長に対する生殖腺重量指数GIをFig. 4に示す。全長範囲がやや広い2006年1月 (Fig. 4-1) と、2007年2月 (Fig. 4-2) では全長の増大とともにGI値も増大する傾向が認められた (2006年1月: $r=0.51$, $p<0.01$, 2007年2月: $r=0.71$, $p<0.01$)。2007年3月は大型個体のみであるが、GI値は30を越える個体が観察される一方、5以下の産卵後と思われる個体も得られた。

耳石年輪解析による成長モデル

無眼側の耳石が得られ、輪紋判読が可能であったのは、雄69個体、雌82個体、計151個体であった。カレイ類は雌雄の成長差が顕著で、雌の成長が雄よりも速く、この特性はヤナギムシガレイにもあてはまる。成長解析は雌雄別を実施した。ただし、漁獲統計資料から資源解析を実施する際には雌雄別の資料を得ることはほとんど不可能である。このため、雌雄込みの解析結果も示すものとする。

全長と耳石半径の関係をFig. 5に示す。孵化時の全長を3.3mm⁹⁾を生物学的切片とし、

$$TL = 3.3 + 110 \cdot R \text{ (雄)} \dots\dots\dots (4-a)$$

$$TL = 3.3 + 113 \cdot R \text{ (雌)} \dots\dots\dots (4-b)$$

$$TL = 3.3 + 112 \cdot R \text{ (雄雌)} \dots\dots\dots (4-c)$$

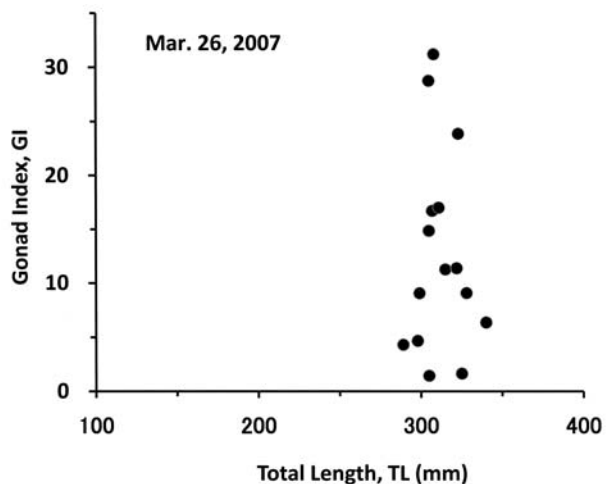
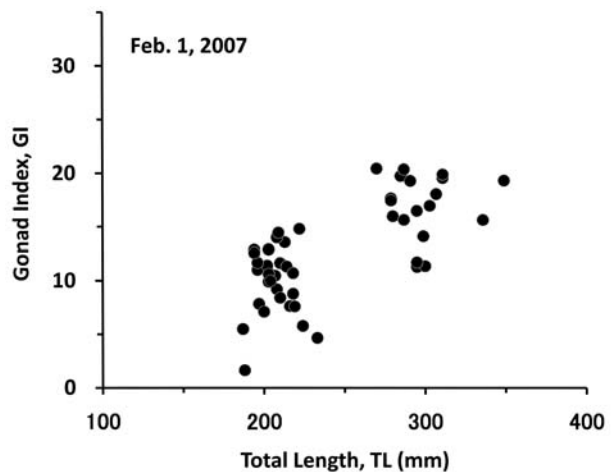
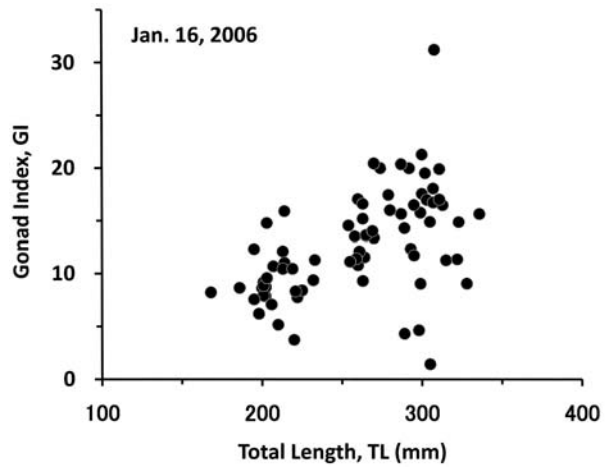


Fig. 4. Relationship between gonad index (GI) and (TL) of willow flounder female.

の回帰直線が得られた。

各輪紋半径と耳石半径の関係をFig. 6に示す。各輪紋半径にはばらつきが見られるが、耳石半径の増大に伴い各輪紋半径も大きくなる傾向が認められた。各輪紋半径の平均値を求め、式(4-a~c)により0.5~7.5歳の計算全長を

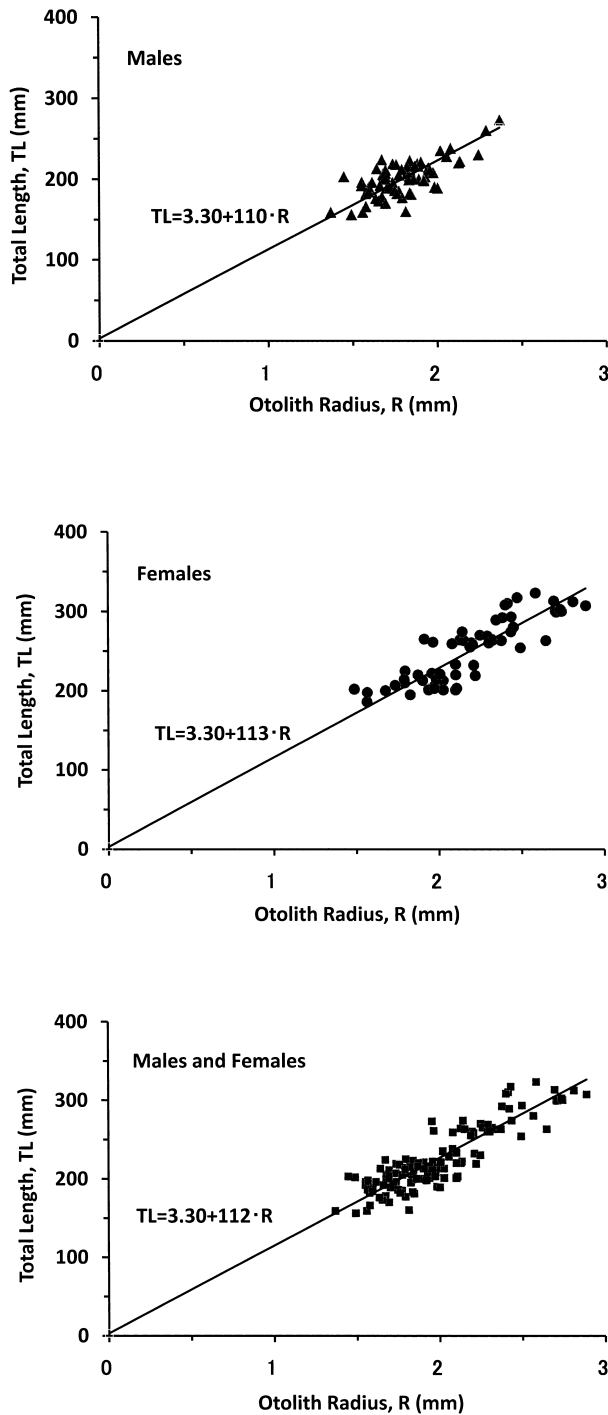


Fig. 5. Relationship between total length (TL) and otolith radius (R) of willow flounder.

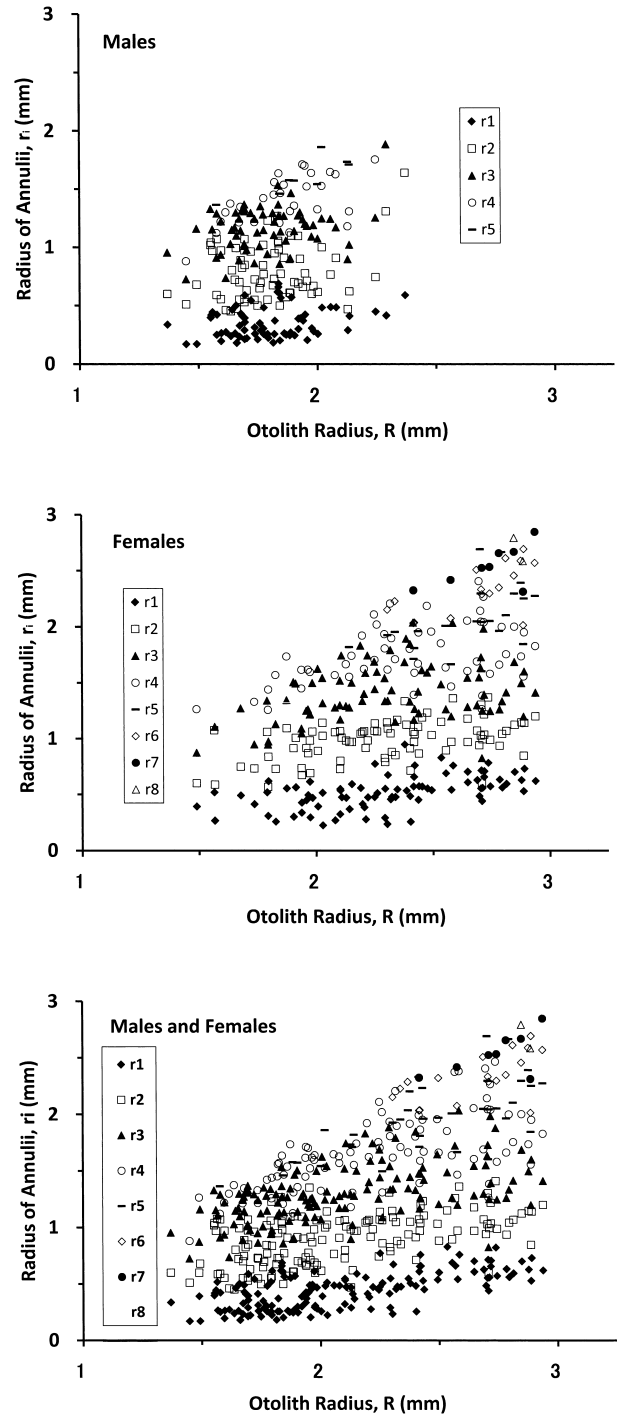


Fig. 6. Relationship between each ring radius (r_1 - r_8) and otolith radius (R) of willow flounder.

求めた (Table 1)。雄では輪紋数が多くなるに伴い輪半径が小さくなるLee現象がすべての輪紋について観察された。雌および雄雌込みにした場合の第1輪には逆に反Lee現象が認められ、第2輪以降は明瞭な関係は認められなかった。Table 1の第*i*輪の計算全長を*i*-0.5歳として、年齢-全長関係をFig. 7に示す。MS-Excelのソルバーを使用し

て、非線形最小自乗法により、von Bertalanffyの成長曲線、

$$L_t = 249 \{1 - e^{-0.272(t+0.181)}\} \quad (\text{雄}) \dots\dots\dots (5-a)$$

$$L_t = 418 \{1 - e^{-0.168(t+0.432)}\} \quad (\text{雌}) \dots\dots\dots (5-b)$$

$$L_t = 482 \{1 - e^{-0.130(t+0.368)}\} \quad (\text{雄雌}) \dots\dots\dots (5-c)$$

Table 1. Mean \pm standard deviation (mm) of otolith radius (R), ring radius (r_i) and back-calculated total length (L_i) for each ring group (N_r)

N_r	n	R	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8
Ring radius, r_i (males)										
2	6	1.87 \pm 0.27	0.40 \pm 0.17	1.22 \pm 0.23						
3	34	1.73 \pm 0.16	0.36 \pm 0.14	0.80 \pm 0.21	1.23 \pm 0.19					
4	21	1.83 \pm 0.19	0.35 \pm 0.13	0.71 \pm 0.16	1.08 \pm 0.17	1.45 \pm 0.22				
5	8	1.94 \pm 0.18	0.30 \pm 0.10	0.64 \pm 0.16	1.00 \pm 0.14	1.27 \pm 0.14	1.60 \pm 0.16			
Total	69	1.80 \pm 0.19	0.36 \pm 0.13	0.79 \pm 0.24	1.15 \pm 0.20	1.40 \pm 0.21	1.60 \pm 0.16			
Ring radius, r_i (females)										
2	2	1.93 \pm 0.52	0.38 \pm 0.20	1.11 \pm 0.05						
3	25	2.13 \pm 0.27	0.50 \pm 0.17	1.00 \pm 0.20	1.53 \pm 0.26					
4	32	2.20 \pm 0.31	0.49 \pm 0.14	0.93 \pm 0.18	1.36 \pm 0.25	1.77 \pm 0.28				
5	7	2.58 \pm 0.23	0.57 \pm 0.13	1.08 \pm 0.14	1.52 \pm 0.27	1.90 \pm 0.28	2.28 \pm 0.36			
6	8	2.59 \pm 0.23	0.60 \pm 0.11	0.98 \pm 0.19	1.25 \pm 0.22	1.62 \pm 0.17	1.98 \pm 0.25	2.35 \pm 0.22		
7	6	2.70 \pm 0.18	0.60 \pm 0.05	1.01 \pm 0.10	1.26 \pm 0.08	1.55 \pm 0.17	1.95 \pm 0.23	2.27 \pm 0.19	2.55 \pm 0.18	
8	2	2.87 \pm 0.03	0.61 \pm 0.12	0.98 \pm 0.20	1.44 \pm 0.34	1.78 \pm 0.31	2.07 \pm 0.32	2.23 \pm 0.31	2.49 \pm 0.25	2.69 \pm 0.15
Total	82	2.30 \pm 0.36	0.52 \pm 0.15	0.98 \pm 0.18	1.41 \pm 0.26	1.75 \pm 0.27	2.08 \pm 0.30	2.33 \pm 0.23	2.53 \pm 0.18	2.69 \pm 0.15
Ring radius, r_i (males and females)										
2	8	1.89 \pm 0.30	0.40 \pm 0.16	1.19 \pm 0.202						
3	59	1.90 \pm 0.29	0.42 \pm 0.17	0.89 \pm 0.23	1.36 \pm 0.26					
4	53	2.06 \pm 0.32	0.44 \pm 0.15	0.84 \pm 0.20	1.25 \pm 0.26	1.64 \pm 0.30				
5	15	2.24 \pm 0.39	0.43 \pm 0.18	0.84 \pm 0.27	1.24 \pm 0.33	1.56 \pm 0.39	1.92 \pm 0.44			
6	8	2.63 \pm 0.24	0.62 \pm 0.11	1.00 \pm 0.18	1.30 \pm 0.24	1.66 \pm 0.19	2.01 \pm 0.25	2.39 \pm 0.24		
7	6	2.70 \pm 0.18	0.60 \pm 0.05	1.01 \pm 0.10	1.26 \pm 0.08	1.55 \pm 0.17	1.95 \pm 0.23	2.27 \pm 0.19	2.55 \pm 0.18	
8	2	2.87 \pm 0.03	0.61 \pm 0.12	0.98 \pm 0.20	1.44 \pm 0.34	1.78 \pm 0.31	2.07 \pm 0.32	2.23 \pm 0.31	2.49 \pm 0.25	2.69 \pm 0.15
Total	151	2.07 \pm 0.38	0.44 \pm 0.16	0.89 \pm 0.22	1.29 \pm 0.26	1.65 \pm 0.32	1.97 \pm 0.33	2.32 \pm 0.21	2.53 \pm 0.18	2.69 \pm 0.15

Table 1. (continued)

N_r	n	R	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5	r_6	r_7	r_8
Back-calculated total length, L_i (males)										
2	6	209 \pm 30	47 \pm 19	137 \pm 25						
3	34	194 \pm 18	43 \pm 15	92 \pm 23	139 \pm 20					
4	21	204 \pm 21	42 \pm 14	81 \pm 18	122 \pm 19	163 \pm 24				
5	8	216 \pm 20	36 \pm 11	73 \pm 18	114 \pm 15	143 \pm 15	179 \pm 17			
Total	69	201 \pm 21	42 \pm 14	90 \pm 26	130 \pm 21	157 \pm 23	179 \pm 17			
Back-calculated total Length, L_i (females)										
2	2	221 \pm 59	46 \pm 22	128 \pm 6						
3	25	243 \pm 31	59 \pm 19	116 \pm 22	176 \pm 30					
4	32	251 \pm 35	59 \pm 16	108 \pm 20	156 \pm 28	203 \pm 32				
5	7	294 \pm 26	68 \pm 14	125 \pm 16	174 \pm 30	217 \pm 31	260 \pm 40			
6	8	295 \pm 26	71 \pm 12	114 \pm 21	145 \pm 25	186 \pm 19	226 \pm 28	268 \pm 25		
7	6	307 \pm 20	70 \pm 5	117 \pm 11	145 \pm 9	178 \pm 19	223 \pm 26	259 \pm 22	290 \pm 21	
8	2	326 \pm 3	72 \pm 14	114 \pm 22	166 \pm 39	203 \pm 35	236 \pm 36	255 \pm 35	284 \pm 28	306 \pm 16
Total	82	262 \pm 40	62 \pm 17	114 \pm 20	162 \pm 29	200 \pm 30	238 \pm 34	265 \pm 25	289 \pm 21	306 \pm 16
Back-calculated total length, L_i (males and females)										
2	8	214 \pm 34	47 \pm 18	136 \pm 23						
3	59	215 \pm 32	50 \pm 18	102 \pm 25	155 \pm 29					
4	53	233 \pm 36	52 \pm 17	97 \pm 23	143 \pm 29	187 \pm 33				
5	15	253 \pm 43	51 \pm 20	98 \pm 30	142 \pm 37	178 \pm 43	217 \pm 49			
6	8	297 \pm 27	72 \pm 12	115 \pm 21	148 \pm 26	189 \pm 22	228 \pm 28	270 \pm 27		
7	6	304 \pm 20	70 \pm 5	116 \pm 11	143 \pm 9	176 \pm 19	221 \pm 26	256 \pm 22	288 \pm 20	
8	2	323 \pm 3	72 \pm 14	113 \pm 22	164 \pm 38	202 \pm 35	234 \pm 36	253 \pm 35	281 \pm 28	303 \pm 16
Total	151	235 \pm 43	53 \pm 18	103 \pm 25	147 \pm 29	188 \pm 36	223 \pm 37	263 \pm 24	286 \pm 20	303 \pm 16

が得られ、計算全長のプロットに良く適合した。

考 察

今回の1月中旬～3月下旬の標本は数が限られ、成熟と産卵に関する十分なデータがあるとはいえない。しかし、得られた雌の生殖腺重量指数GIは大多数が5～30の範囲であり、同海域における1960年代の最大値4～8* (中原²⁾) に比較して高い値を示し、高い確率でこの期間が産卵盛期であるといえる。この産卵期は、多くの過去の知見³⁻⁷⁾と

一致する。しかし、先の1960年代の日本海西部においてGI値が最大であったのは11月で、これを最盛期とする10～12月が産卵期であった。1月～3月にはGI値は2未満で非常に低く産卵は終了していた。この年代には現在より産卵期が約3ヶ月早かったことになる。産卵期の変化は再生産に大きな影響を及ぼす可能性があり、¹⁰⁾ 近年の資源増大の要因を探る上で重要なヒントになり得る。残念ながら、1960年代から近年にいたる産卵期の変化過程を再現できるような情報は残されていない。

また、Table 1で雌の第1輪に反Lee現象が認められた。

*原著では $GI = GW/BL^3 \times 10^6$ により計算。本研究と同じ計算法に換算した値

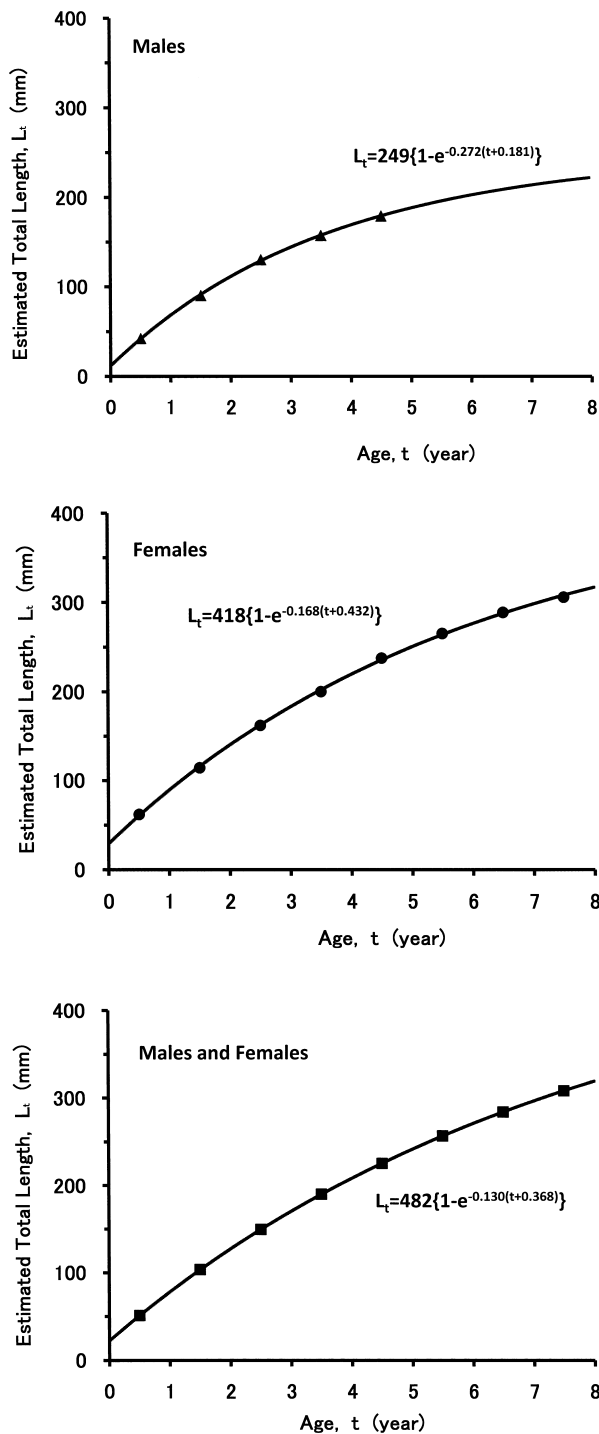


Fig. 7. Yearly back-calculated total lengths (L_t) fitted to von Bertalanffy growth model for willow flounder.

これは1年目の成長が経年的に遅くなったことを意味する。日本海西部海域産ヤナギムシガレイは1998年以降親魚資源量が増加しているものの、加入量はほとんど同水準である(今井 未発表資料)。すなわち、親魚資源量当たり加入量RPSが減少していることになる。親魚資源量の増大、RPSの減少と1年目の成長の減速が同時進行していること

は資源変動要因を探る上で興味深い現象である。さらなる解析は資源解析について報告する次報に譲るものとする。なお、柳下ら⁴⁾は若狭湾西部における1998年~2000年の標本について同様の反Lee現象を報告したが、その要因については考察していない。

ヤナギムシガレイの年齢と成長については、東シナ海・黄海¹⁾、本研究と同じ日本海西部²⁾、若狭湾西部^{3,4)}、新潟県⁵⁾および福島県^{6,7)}における報告があり、柳下ら⁴⁾が満年齢における平均体長を比較表にまとめている。これを式(2)を用いて標準体長を全長に換算し、本研究の成長モデルより計算した結果を加えた比較図をFig. 8に示す。なお、東シナ海・黄海の報告は体長の測定法が不明なため、除外した。また、日本海西部海域における1960年代の値²⁾は雌雄込みであったため、雌雄の図に同じ曲線を示している。なお、Yabuki³⁾は中原²⁾が雌雄の成長差を無視して体長組成から年齢を推定した方法を問題視していることを申し添える。

雄の年齢別全長で、本研究の結果は日本海西部の1960年代に続く小さな値であった。この要因の1つとして使用した雄が小型個体に偏ったことが考えられる。雌では日本海

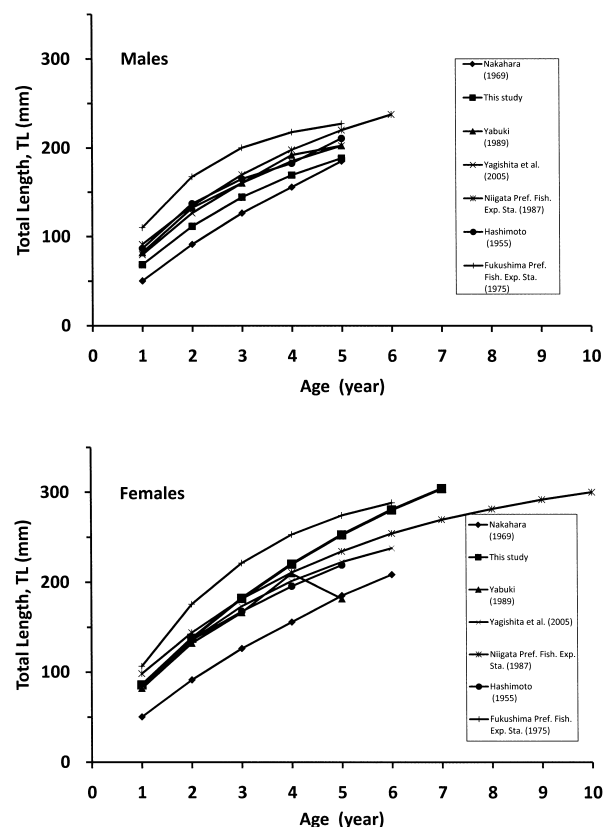


Fig. 8. Comparison of willow flounder growth curves by previous and present reports.

西部海域では1960年代²⁾よりも同一年齢の全長が非常に大きくなり、最大全長も大差がある。同様に若狭湾西部におけるYabuki³⁾による1980～1986年の値と柳下ら⁴⁾の1998～2000年を比較しても後者が大きい。福島県では近年の資料がないものの、橋本⁶⁾による1950年代の結果に対し、福島県水産試験場⁷⁾の1975年の値が大きくなっている。ヤナギムシガレイの成長には海域および年代により大きな変異のあることが明らかになった。成長の変異と資源量の関係を解明することは今後の課題である。

今回得られたヤナギムシガレイの成長速度はこれまでの報告の中では福島県の1975年頃に次ぐ大きな値であった。しかし、この結果でさえも、同所的に生息するムシガレイ^{11,12)}やソウハチ¹³⁾に比べれば成長速度は小さい。成長の遅い魚種は同じ目合いで漁獲すれば、体型が似ている成長の速い魚種よりも漁獲開始年齢が高くなるため、漁業による資源へのインパクトは相対的に小さくなる。この点も考慮しつつ、資源解析を実施し、ヤナギムシガレイの資源増大の要因を明らかにし、有効な資源管理方策を提案することが急務である。

謝 辞

本研究で使用したヤナギムシガレイの標本を集めるに当たり、下関中央魚市場(株)の磯本啓三氏および河崎商店の布施俊男氏に便宜を計って頂いた。ここに御礼申し上げます。

文 献

- 1) 最首光三：6. 資源の生物学的研究, II. 重要魚種の年齢と成長. 東海・黄海における底魚資源の研究4, 水産庁西海区水産研究所, 長崎, 50-55 (1957)
- 2) 中原民男：山口県沖合大陸棚に分布する重要底魚類の漁業生物学的特性. 山口外海水試研報, 11, 1-70 (1969)
- 3) Yabuki K: Age determination of yanagumusigarei *Tanakius kitaharai* (Pleuronectidae) from otoliths in the Sea of Japan off Kyoto Prefecture. Nippon Suisan Gakkaishi, 55, 1331-1338 (1989)
- 4) 柳下直己, 大木 繁, 山崎 淳：若狭湾西部海域におけるヤナギムシガレイの年齢と成長および年齢組成. 日水誌, 71, 138-145 (2005)
- 5) 新潟県水産試験場：ヤナギムシガレイ. 新潟県沿岸域漁業適正化方式報告書, 新潟, 31-38 (1987)
- 6) 橋本良平：ヤナギムシガレイの年齢に関する基礎的研究. 東北水研研報, 4, 156-164 (1955)
- 7) 福島県水産試験場：太平洋北区栽培漁業漁場資源生態調査ヤナギムシガレイ・スズキに関する調査報告書. 福島水試調査研究資料, 福島, 1-33 (1975)
- 8) 今井千文, 宮崎義信, 時村宗春, 山本圭介：写真画像計測による体長測定法の開発：ムシガレイ漁獲物の銘柄別全長組成推定への応用. 水産海洋研究, 69, 18-26 (2005)
- 9) 南 卓志：ヤナギムシガレイ 沖山宗雄編 日本産稚魚図鑑, 東海大学出版会, 東京, 949 (1988)
- 10) D H Cushing: Marine Ecology and Fisheries. Cambridge University Press, London, 278pp. (1975)
- 11) 今岡要二郎, 三栖 寛：日本海西南海域およびその周辺海域産ムシガレイの漁業生物学的研究 第1報 年齢と成長について. 西海水研研報, 37, 51-70 (1969)
- 12) 今井千文, 宮崎義信：耳石解析によるムシガレイ日本海西部群の成長モデルの再検討. 水大校研報, 53, 21-34 (2005)
- 13) 渡辺 徹：日本海西南海域における底魚資源研究(1) ソウハチ *Cleithenes herzensteini* (SCHUMIT) の年令査定, 年令組成及び生残率. 日水研業績集, 1, 65-81 (1954)