

徳島県伊島周辺のマダイの年齢と成長

渡辺 健一^{*1}・保正 竜也^{*2}

Age and Growth of the Red Sea Bream *Pagrus major* around Ishima Island on the Coastal Area of Tokushima Prefecture

Ken-ichi WATANABE^{*1} and Tatsuya HOSHO^{*2}

Based on the nonlinear Gauss-Newton method using the fork length by month of age and reading the scale radius, the relationships between age and growth of *Pagrus major* around Ishima Island on the coastal area of Tokushima Prefecture were examined. The growth equation was expressed with von Bertalanffy curve of $FL_t=843.3(1-\exp(-0.1039(t+1.423)))$ (FL_t =fork length; t =age) by the fork length of age method, and of $FL_t=888.4(1-\exp(-0.0886(t+1.3521)))$ by the scale radius reading method.

The growth of *Pagrus major* around Ishima Island was slower than that of the southern part of Wakayama Pref. and the same speed as that of southern part Awaji Isl. These growth variations are considered to be based on the influence of the water temperature transition caused by ocean currents around the Kiisuido channel. The growth of *P. major* around Ishima Island is concluded to be belonging to the fast growth group in the same species in Japanese coastal waters.

Key words: *Pagrus major* マダイ, Age and growth, 年齢と成長, Growth equation, 成長式

マダイ, *Pagrus major* は, 全国的な重要魚種で, 経済的価値は高く, 各地でその資源の維持と増産のために種苗放流と資源管理型漁業が進められている。徳島県沿岸においても同様で, 人工種苗の放流と同時に, 小型底曳網と定置網漁業で漁獲された小型魚の再放流が実施されている。

マダイの年齢と成長に関しては, 赤崎(1960)と三尾(1962)の若狭湾および九州での事例をはじめ, 瀬戸内海でも広島県中部(国行ら1975), 友が島, 明石(阪本ら1981)および紀伊水道外海域和歌山県沿岸(阪本1984), 淡路島南部(島本1984), 松山沖(沢田ら1985), 播磨灘南部(横川1992)など各地での研究報告がある。

徳島県沿岸のマダイの主漁場は鳴門海峡周辺海域と紀伊水道南部の伊島周辺海域である。このうち鳴門海峡周辺のマダイは瀬戸内海東部系群に属し(瀬戸内海東部マダイ班1988), 海峡や沼島周辺を越冬場に行っていると考えられている(日野淑美ほか1984)。この瀬戸内海東部系群については, 友が島と明石(阪本1981), 淡路島南部(島本1984)および播磨灘南部(横川1992)

で成長式が報告されている。外海に面した伊島周辺のマダイも標識放流の結果から, 0歳魚を通じて瀬戸内海東部系群との交流が考えられている(日野淑美ほか1984)。しかし, 内海のマダイと外海のマダイについては, 従来あった外海から内海への入り込み説を漁況や生態的知見から梶山(1937)が否定して, 内海内部のマダイ資源と紀伊水道南部およびこれに接する外海域の資源とは分離して取り扱うことが適当と主張し, 阪本ら(1974)も紀伊水道の内海と外海の漁況と魚体組成からこの説を支持している。また, 漁獲対象である天然大型群の外海域和歌山県沿岸での標識放流結果(阪本1984)からも, 内海と外海の交流が少なく, 紀伊水道南部においても徳島県側への回遊が少ないことから伊島周辺のマダイは独立性のある集団を形成している可能性が高い。したがって, この海域のマダイの年齢と成長の関係を把握しておくことは, 今後の増殖と資源管理を考えていく上での生態的知見として意義がある。また, 瀬戸内海東部系群との生活圏の境界を明らかにする点でも重要である。今回の調査から, 紀伊水道南

*1 徳島県立農林水産総合技術センター水産研究所(Bulletin of Fisheries Research Institute, Tokushima Agriculture Forestry and Technology Center, Hiwasa, Kaifu, Tokushima 779-2304, Japan)

*2 日本 NUS 株式会社 (Japan NUS Co., LTD, Kaigan, Minatoku, Tokyo 108-0022, Japan)

部伊島周辺海域のマダイの年齢と成長の関係を明らかにするとともに成長式の導出方法についても検討した。また、その成長を他海域のマダイと比較検討した。

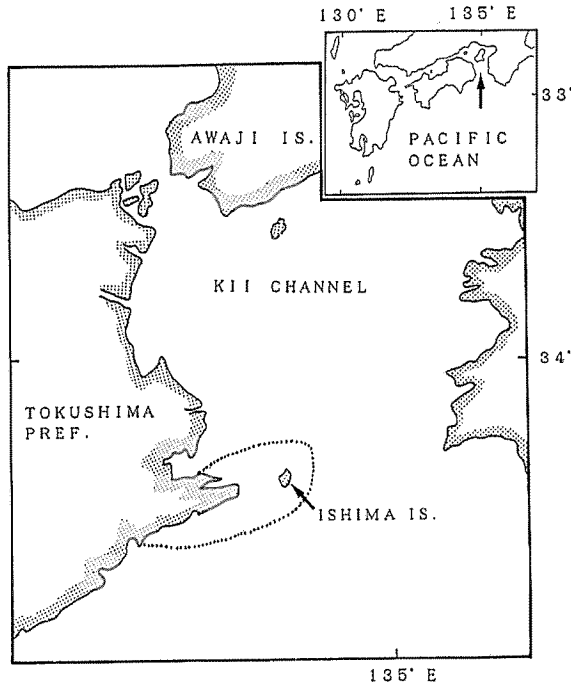


Fig. 1 Sampling locality for *Pagrus major* studied. Fishing grounds on the pole and set-net fishing are within area circled by a dotted line.

材料および方法

解析に供した標本は、紀伊水道徳島県沿岸の伊島周辺海域 (Fig. 1) で 1994 年 4 月から 1998 年 3 月までに椿泊漁協の一本釣および小型定置網漁業により漁獲された 1 歳魚以上の 1,927 個体と 1993 年 10 月から 1996 年 2 月の秋季に同漁協の小型底曳網と小型定置網漁業で漁獲された 0 歳魚 1,193 個体である。1 歳魚以上の標本の採集は、周年月 3 回 (3 旬) を目標に実施した。標本は、生鮮状態で尾叉長、体重および生殖腺重量を測定するとともに年齢査定用に鱗を採取した。鱗は、胸鰭の基部から同先端までの 3 分の 2 ほどの位置で、側線下 4 列目周辺のもの数枚を採取し、そのうちの輪紋の明瞭なものを使用した。標本の年齢は万能投影機で鱗の輪紋を読み取って査定し、鱗紋から鱗紋長を測定した。鱗の焦点と被覆部最外縁の右基側角を直線で結び、各鱗紋の右側角と直線の交点から焦点までの距離を鱗紋長 (r) とし同直線上の最外縁までの長さを鱗長 (R) とした。成長式は、漁獲魚の尾叉長とその鱗から査定した年齢のデータから成長式のパラメーター

を推定する直接法 (以下直接法とする) と鱗紋長の成長式を鱗紋長と尾叉長の関係式により、尾叉長の成長式を導出する間接法 (以下間接法とする) で求めるとともに両者の比較を行った。直接法では Gauss-Newton 法を用いて von Bertalanffy の成長式を適用した。また、周期関数により拡張された成長式は赤嶺 (1986) のアルゴリズムによった。一方、間接法では、輪紋群毎の平均輪紋長と全個体を組み入れた各輪紋の平均長を求め、次いで鱗紋長と尾叉長の関係式を求めて鱗形成時尾叉長を算出し、さらに定差方程式により極限尾叉長、年齢と鱗形成時尾叉長の関係から k , t_0 値を算出して von Bertalanffy の成長式を適用した。

結 果

鱗による年齢査定と鱗径測定 阪本 (1984) は、内海産マダイに比べて外海産マダイの鱗の年齢査定が困難であることを述べている。今回の研究でも年齢の読み取りが不確実な標本が多く、それらを除外した結果、1 歳魚以上のうちで使用に供した標本は 1,207 個体 (Table 1) であった。

Table 1 Specimens of *Pagrus major* used in this study

Date	Numbers of specimens	Range of fork length
March 1994	8	23.6-51.0
April	18	18.7-36.9
May	13	22.4-41.1
June	6	23.5-46.1
August	57	16.2-25.9
September	38	14.1-23.4
October	120	13.9-30.7
November	33	16.8-25.7
December	35	20.9-46.5
January 1995	26	18.1-46.0
February	4	19.0-26.5
March	8	27.8-63.5
April	39	17.3-38.7
May	67	16.2-43.2
June	89	17.9-49.0
July	51	17.5-44.4
August	16	20.4-30.0
September	6	19.6-25.3
October	9	19.7-23.8
November	36	20.1-49.6
December	34	18.2-43.5
January 1996	15	21.2-30.4
February	12	19.1-46.3
March	21	20.4-56.8
April	15	23.6-32.2
May	33	21.6-45.3
June	34	19.6-41.3
July	24	17.0-41.6
August	24	18.3-28.0
September	38	15.6-38.5
October	26	18.1-30.2
November	25	19.2-33.7
December	29	20.2-40.4
January 1997	26	18.5-62.4
February	8	21.6-55.4
April	31	18.4-40.7
May	44	18.6-57.0
June	11	20.1-33.5
September	22	19.3-49.5
October	11	19.3-41.4
November	22	21.2-54.4
December	13	21.9-40.2
January 1998	5	23.1-40.7
March	5	27.6-53.5
Total	1207	

輪紋形成期と産卵期 縁辺成長率 $((R-r_n)/(r_n-r_{n-1}))$ と生殖腺熟度指数(GSI=生殖腺重量/体重-生殖腺重量)の径月変化(Fig. 2, 3)から輪紋形成期および産卵期を推定した。それぞれの径月変化から、輪紋形成期は4~6月、産卵期は3月~5月と考えられた。鱗紋形成期は、高齢魚において遅い傾向が認められた。

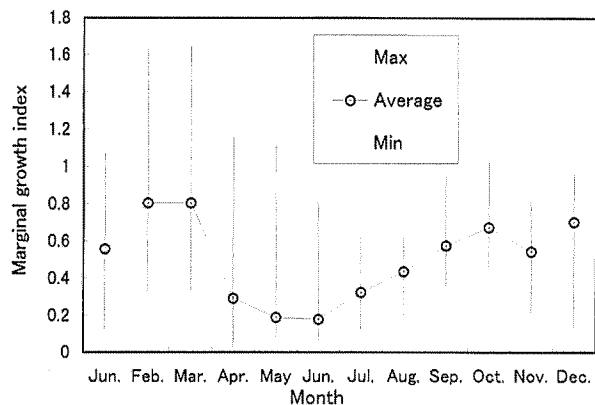


Fig. 2 Monthly changes of the marginal increment.

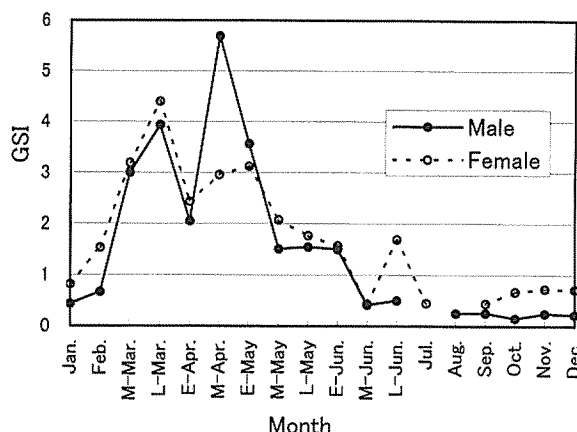


Fig. 3 Seasonal changes in the gonadal somatic index (GSI) of over four years old *Pagrus major* around Ishima Island, Tokushima, Japan.

直接法から求めた成長式 1歳魚以上の標本から212の年齢別経過月別平均尾又長が得られた(Table 2)。基準月は産卵月である4月($t=0$)と仮定し、一般の成長式には4月(満年齢)における年齢別平均尾又長を、周期関数を持つ成長式には経過月別平均尾又長とともに9-10月の0歳魚の平均尾又長も使用した。また、体長、体重の関係式は次のとおりであった。

$$BW=0.0000753FL^{2.7768}$$

ただし、 BW は体重(g)、 FL は尾又長(mm)。

von Bertalanffyの成長式：

$$FL_t=843.3(1-\exp(-0.1039(t+1.423)))$$

$$AIC=113.5 \quad (1)$$

ただし t は年齢、 FL_t は t 歳時の尾又長(mm)。

周期関数を持つ成長式：

周期関数を持つ成長式は赤嶺(1986)のアルゴリズムによりパラメーターを推定した。結果は次のとおりであった。

$$FL_t=P1(1-\exp(-P2((1+P5)^t / 24+(1-P5)\sin(2\pi(t/12-P3))/4\pi-(1+P5)P4/2-(1-P5)\sin(2\pi(P4-P3))/4\pi)))$$

$P1=752.6, P2=1.6729, P3=-0.3308, P4=-0.0811, P5=0.9191, AIC=1402$

上式を整理して次式で示された。

$$FL_t=752.6 \times (1-\exp(-1.6729(0.080t-0.0714+0.0064\sin(0.5236t+2.0783)))) \quad (2)$$

Table 2 Average fork length (cm) by month of age of red sea bream

Month	Age															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	16					
Mar. 1994	26.2	30.1		37.5	44.4	54.3	60.7									
Apr.	18.7	25.4	32.8	35.1	40.3	46.9	46.6									
May.	19.0	24.8	30.1	35.1	41.8											
Jun.		24.0	31.1		46.1	45.0	53.3	58.0								
Aug.	19.3	24.7				41.8										
Sep.	18.6															
Oct.	19.5	25.4	30.4		44.4	46.5										
Nov.	21.2															
Dec.	23.4	27.4	32.7	37.2	41.9		48.7	64.3								
Jan. 1995	20.7	27.9	33.6	37.9	43.2	45.8	48.9									
Mar.		28.1		39.7			45.4	53.3								
Apr.	19.2	25.3	28.9	37.9	39.5	46.4										
May.	19.4	24.9	32.5	39.2	44.0											
Jun.	19.8	26.0	30.0	34.6	43.3											
Jul.	19.6	25.5	37.7	44.4	44.2											
Aug.	21.0	24.9	28.3													
Sep.	20.5	24.9	26.7													
Oct.	22.3	22.7														
Nov.	22.3	25.3	34.2	39.8			49.6									
Dec.	23.6	28.1	32.9		43.5											
Jan. 1996	23.4	27.0		33.2												
Feb.	24.8	25.0		39.0	41.3	46.3										
Mar.	24.5	29.8	35.7	35.1											56.8	
Apr.		25.8	30.5													
May.		24.0	29.6	35.1	42.1										47.8	
Jun.	20.1	25.5	29.5	40.3	44.4									58.9	57.0	56.0
Jul.	19.0	28.6	30.0	41.6	34.2	39.4										
Aug.	19.9	26.3	31.5													
Sep.	19.6	26.6	28.6	38.5												
Oct.	20.5	28.4	29.4												56.7	
Nov.	21.5	29.2	33.7												49.0	
Dec.	21.8	27.4	34.9	39.3											47.5	
Jan. 1997	21.3	30.6	34.2	41.4			53.0	62.4	55.7							
Feb.	24.4		32.1	33.5	39.8			53.0	52.2	52.6						69.7
Apr.		22.7	28.9	37.3	40.1											
May.	19.8	23.4	30.5	37.9	40.0	46.2	46.4	49.4	54.8							
Jun.	24.4	31.1	39.7	40.8	46.2											
Sep.	26.7	34.7	36.7	42.3	46.0	44.8										
Oct.	22.3	29.6	37.4	41.4												
Nov.	23.9	27.1	34.6	38.0	54.4											
Dec.	24.1	29.9	39.0	40.4												
Jan. 1998			37.6	40.7			47.5	47.5								
Mar.		32.3	38.7	43.1			55.5	55.5	59.8							

間接法から求めた成長式 輪紋群毎の平均輪紋長と全個体を組み入れた各輪紋の平均長をTable 3に示した。次に輪紋長 R と尾又長 FL の関係式をべき乗式と指数式で次に示す。全体の適合度はよく似ているが、Fig. 4から大型魚においては指数式が良いと思われた。

$$\text{べき乗式: } FL=22.0115R^{1.2085}$$

$$r=0.982, AIC=895 \quad (3)$$

$$\text{指数式: } FL=90.4368e^{0.1339R}$$

$$r=0.981, AIC=915 \quad (4)$$

次にTable 3に求めた平均輪紋長を(3)、(4)式に代入して輪紋形成時尾又長を得た。これから極限尾又長、

Table 3 Average of the ring radius on scale of *Pagrus major*

Ring	Number of samples	Radius (mm) of ring mark								
		r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7	r8	r9
1	729	4.17								
2	277	4.14	6.66							
3	115	4.27	6.73	8.49						
4	48	4.33	6.89	8.70	9.86					
5	15	4.33	6.76	8.46	9.72	10.65				
6	8	4.35	6.73	8.56	9.78	10.75	11.56			
7	8	4.41	6.91	8.70	9.91	10.92	11.87	12.61		
8	4	4.30	6.82	8.70	9.94	10.82	11.55	12.29	12.75	
9	3	5.10	7.27	9.00	10.03	10.93	11.47	12.12	12.60	13.03
Average	1207	4.38	6.85	8.66	9.87	10.82	11.61	12.34	12.68	13.03

k および t_0 を得て次の成長式を得た。

R - FL 関係が指数式：

$$FLt = 888.4(1 - \exp(-0.0886(t + 1.3521))) \quad (5)$$

R - FL 関係がべき乗式：

$$FLt = 541.8(1 - \exp(-0.2659(t - 0.02))) \quad (6)$$

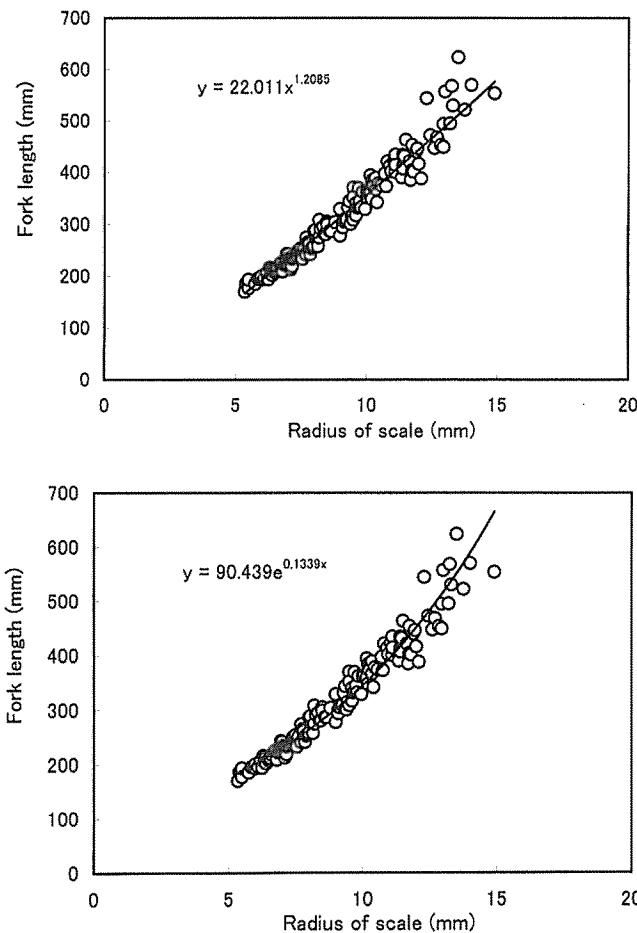


Fig. 4 The relationship formulae of fork length and radius of scales.

直接法による成長式と間接法から求めた成長式の比較 Fig. 5. に直接法から求めた von Bertalanffy の成長式 (1 (図中 A)), 間接法から求め、 R - FL 関係が指数式 (5 (B)) およびべき乗式 (6 (C)) として求めた同成長式を示した。図から、(1 (A)) 式による成長が最も大きいことが認められた。間接法から求めたもので

は、(5 (B)) 式による成長が (1 (A)) による成長に若干劣るもののよく似た傾向を示し、(6 (C)) 式による成長は、両式の成長に比べて 2 歳までが劣るとともに 7 歳以降の成長が著しく鈍化する結果となった。なお、ここでは、直接法から求めた von Bertalanffy の成長式は、間接法から求めた成長式と同条件とするため、

周期関数を持つ成長式 (2) でなく (1) の成長式により比較した。

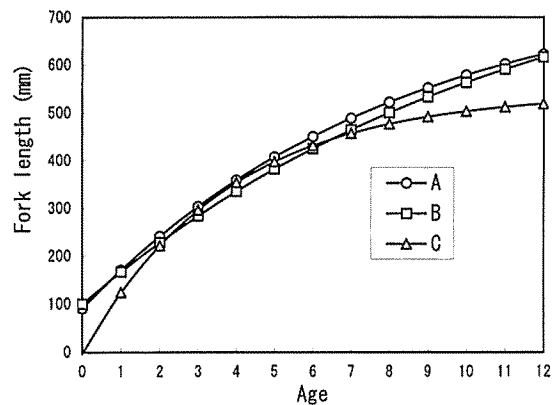


Fig. 5 Three growth equations were expressed with von Bertalanffy curve.

A : $FLt = 843.3(1 - \exp(-0.1039(t + 1.423)))$ by the method using fork length of age

B : $FLt = 888.4(1 - \exp(-0.0886(t + 1.3521)))$ by the method of reading the radius of the scales

The relationships of fork length and scale radius is an index number formulae.

C : $FLt = 541.8(1 - \exp(-0.2659(t - 0.02)))$ by the method of reading the radius of the scales

The relationships of fork length and scale radius is an exponent formula.

FLt = fork length, t = age

日本各地のマダイとの成長比較 Fig. 6. に直接法から求めた von Bertalanffy の成長式による伊島周辺のマダイの成長曲線とともに今までに報告された各地のマダイの成長曲線を示した。この図から、伊島周辺のマダイの成長は、紀伊水道外海和歌山県産のマダイに比べて若干劣るものの、友が島や淡路島南部のマダイとほぼ同じであった。

考 察

マダイの成長については、一般に鱗の鱗紋長を用いて (間接法) 求められており (赤崎 1960, 国行ら 1975, 沢田ら 1985, 阪本 1984, 阪本ら 1981, 島本 1984, 三尾

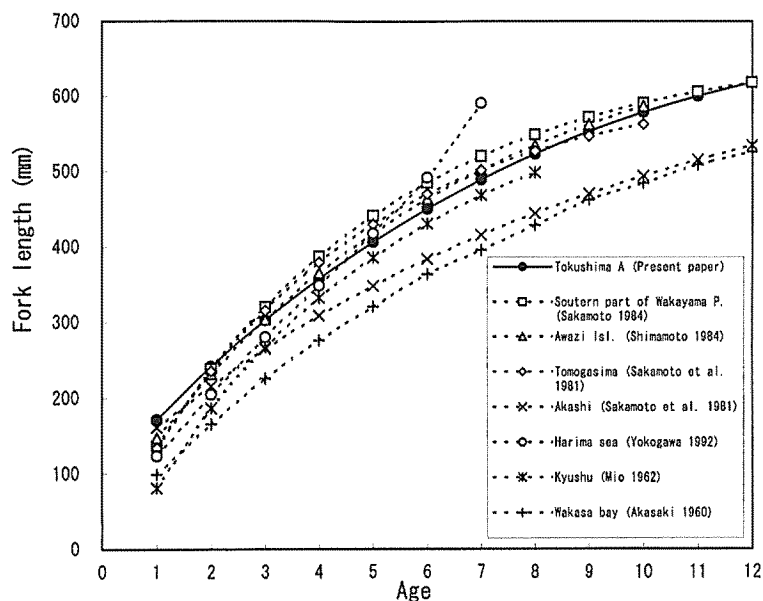


Fig. 6 The comparative estimates of the growth of *Pagrus major* in the Japanese coastal waters.

1962, 島本 1984 および横川 1992), 鱗紋数から求めた年齢と尾叉長の関係を使用した(直接法)報告は見られない。本研究では, 両方法で成長を求めて比較した。間接法では, 高齢魚の個体については1個体の鱗の鱗紋長から過去の多年の成長情報が得られる特徴があり, 鱗紋長と尾叉長(もしくは体長)の間に高い相関関係があるならば, マダイの平均的成長が推定できる。しかし, 高齢魚では鱗紋の読み取りの困難な個体が多く, 鱗紋長の測定はさらに困難な個体が多い。また, 鱗紋長と尾叉長(もしくは体長)との関係が, 1次式(沢田ら 1985), 2次式(赤崎 1960, 三尾 1962), べき乗式(国行ら 1975, 阪本ら 1981, 阪本 1984, 島本 1984 および横川 1992) および指数式(宮崎県水産試験場 1984)で報告されていることは, 鱗紋と魚体の成長率の差が地域により様々であることを示している可能性がある。今回の伊島周辺での解析結果では, この関係をべき乗式として求めた成長式による成長は, 若齢時でも高齢時でも実態に合わず, 指数式により求めた成長式がより実態に則していると思われた。指数式で求めた成長式による成長は, 直接法から求めた成長式による成長に類似したが, 成長が少し過小推定となる結果となった。一方, 直接法による成長式は直接魚体を測定した多数の漁獲魚データから得られており, 年齢の読み取りに誤りがなければ伊島周辺に生息するマダイ群の成長を表すものと考えられる。また, この成長式は,

漁獲された時の尾叉長測定値を直接使用しており, 誤差が少ないと思われる。この成長式により, 伊島周辺のマダイの成長は, 紀伊水道外海域和歌山県沿岸産のマダイには若干劣るものの紀伊水道北部の友が島水道や淡路島南部産マダイとほぼ同じであると考えられた。紀伊水道外海域和歌山県沿岸が黒潮から分かれて紀伊水道方面に流入してくる暖かい分枝流の影響を直接受けるのに対して, 伊島周辺では紀伊水道からの冷たい南下流の影響を受けており(殿谷次郎 1981), 伊島周辺のマダイの成長が, 水温の影響によって紀伊水道外海域和歌山県沿岸産より劣り, 友が島や淡路島南部のマダイに匹敵するのというのも十分納得できる。しかし, 伊島周辺のマダイは, 若狭湾や明

石のマダイに比べて成長が早く, 日本沿岸のマダイの中で成長の早いグループに属するものと考えられた。

次に, 紀伊水道外海域和歌山県沿岸産の鱗紋形成時期は, 3-4月と報告(阪本 1984)されているのに対して今回調査した伊島周辺では4-6月と推定され, 若干遅いものと考えられた。友が島水道や淡路島南部では, 5月(阪本ら 1981), 4および5月(島本 1984)と推定されており, 伊島周辺は紀伊水道南部にあるにもかかわらず北部海域のマダイとほぼ一致している。鱗紋の形成は, 鱗紋が冬季成長を停止していた鱗が春成長を開始したときに生ずる隆起線の乱れと報告(猪子ら 1980)されている。伊島周辺のマダイの鱗紋形成時期も成長と同じく水温の影響を受けているものと考えられる。

紀伊水道和歌山県沿岸では, 魚体組成と漁況, 成長(阪本ら 1974) および標識放流結果(阪本 1984)から瀬戸内海東部系群と外海産マダイとの差が明らかにされている。しかし, 伊島周辺のマダイと瀬戸内海東部系群との差は明確にされておらず, 本研究でも成長差は認められなかった。ただ, 鱗紋の不明瞭な個体が多く, この点については紀伊水道外海域和歌山県産マダイ(阪本 1984)と同様で, 瀬戸内海東部系群との差である可能性がある。また, 漁況からは, 紀伊水道南部徳島県沿岸から外海域のマダイ回遊群の存在の可能性が指摘されている(日野ら 1984)。伊島周辺のマダイ

は、0歳時に瀬戸内海東部系群との交流があるもののその後の独立性を保っている可能性が考えられる。伊島周辺は紀伊水道と外海との境にあり、今後外海域徳島県産マダイとの関係を把握するとともに、伊島周辺マダイに対する瀬戸内海東部系群と外海域産マダイの影響の程度を把握していく必要があると考えられる。

謝 辞

本論文のご校正をいただいた前徳島県水産試験場次長小島 博氏、徳島県立農林水産総合技術センター水産研究所上田幸男博士に深謝します。標本採集にご協力を頂いた椿泊漁協の職員の方々、測定に協力いただいた徳島県水産課岡崎孝博技師に感謝します。

文 献

赤崎正人：若狭湾産マダイの年齢と成長。日水誌，26(3)，217-222 (1960)。

Akamine T.: Expansion of growth curves using a periodic function and basic programs by Marquardt's method. *Bull. Jap. Sea Reg. Fish. Lab.*, 36, 77-107 (1986)。

猪子嘉生・溝上昭男・高山晴義：マダイ鱗の鱗紋観察（予報）。第12回南西海区ブロック内海漁業研究会報告，71-73 (1980)。

梶山英二：鯛。杉山書店，東京，1937，143p。

国行一正・矢野実・川西正衛：広島県中部海域におけるマダイ未成魚の年齢と成長。南西海区水研報，8，81-100 (1975)。

阪本俊雄・矢野 実：紀伊水道域におけるマダイ漁況。水産海洋研究会報，24，17-28 (1974)。

阪本俊雄・土井長之・岩井昌三・石岡清英：瀬戸内海東部海域におけるマダイの生物情報と資源診断。東海区水研報，106，59-113 (1981)。

阪本俊雄：紀伊水道外域マダイの標識放流結果からみた分布と移動。日水誌，50(11)，1835-1842 (1984)。

阪本俊雄：紀伊水道産マダイの年齢と成長。日水誌，50，1829-1834 (1984)。

沢田茂樹・市川 衛・佐野隆三：松山沖一本釣マダイの成長について。栽培技研，14(1)，55-62 (1985)。

島本信夫：淡路島南東部海域におけるマダイの資源増殖に関する研究—I 成長と成熟。兵庫水試研報，22，11-25 (1984)。

瀬戸内海東部マダイ班：回遊性魚類共同放流実験調査事業総括報告書第Ⅱ期。兵庫水試，明石，1988，pp. 1-60。

殿谷次郎：大型冷水塊形成による黒潮流及び徳島県沿海の海況変動。昭和54年度徳島水試報，128-135 (1981)。

日野淑美・谷本尚則・中村和夫・小島 博・湯浅明彦・成田堯：回遊性魚類共同放流実験調査。昭和57年度徳島水試報，22-33 (1984)。

三尾真一：九州における沿岸魚類の資源生物学的研究Ⅳ マダイの年齢および成長。九大農学芸雑誌，19(4)，507-520 (1962)。

宮崎県水産試験場：鱗調査。昭和60年度回遊性魚類共同放流実験調査事業。瀬戸内海西部海域総合報告書，宮崎県，1984，15-18。

横川浩治：播磨灘南部海域産マダイの鱗による年齢と成長の推定。水産増殖，40(1)，7-13 (1992)。