

山形県沿岸域におけるマダイの年齢と成長について

佐藤 雅 希

(山形県水産試験場)

1. はじめに

マダイの年齢と成長については過去において、また各地において報告が数多くなされている。しかしマダイの場合同じ年齢でも季節によってかなり違いがみられ、季節別に年齢と成長を考察した報告は藤川ら (1987) がみられるだけである。近年資源管理のための基礎資料としてマダイの年齢組成を調査する機会が多いが、その際に問題となるのがこの季節による成長の違いである。そのため本報告ではこの点を中心に調査並びに結果を検討してみた。

2. 材料及び方法

材料については1988年から1991年まで山形県酒田と鼠ヶ関の市場においてFL 20cm以上のマダイを採集し、尾叉長 (FL: cm) と体重 (BW: g) を測定した後、鱗 (胸鱗基部後方5~6枚目付近) を数枚採集し、きれいに洗浄後2枚のスライドグラスに挟み、それらの鱗長と各輪紋径を実体顕微鏡により測定した。輪紋の計測は国行ら (1975) の方法に従ったが、鱗長は鱗の中心から最外隆起線までの長さとした。なお、鱗長及び各鱗紋径は各個体につき数枚測定し、その平均値を各個体の鱗長 (R) 及び輪紋径 (r_n) とした。

3. 結果及び考察

採集したマダイの鱗は539サンプルであったが、うち輪紋径が計測できたのは379サンプル (70.3%) であり、残りは偽年輪と推定され、偽年輪の割合が予想以上に多いと言う意外な結果であった。

図1に縁辺成長率 α の季節変化を樋田ら (1976) の結果より引用した。これによると、 α は6月から7月にかけて低下しており、各輪紋は年1回6~7月に形成されるとしている。輪紋

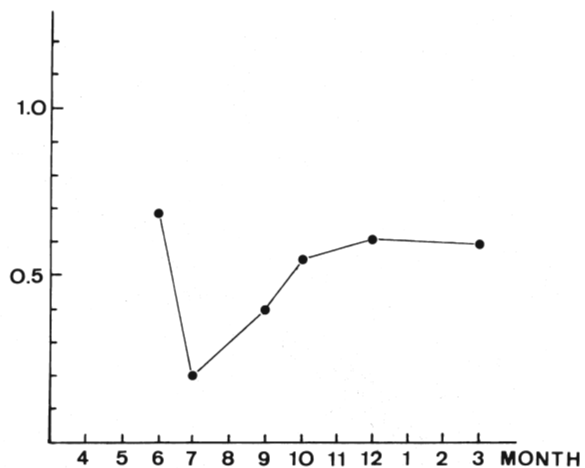


図1. 縁辺成長率 α の季節変化 (1~3輪魚)
(樋田ら 1976)

の観察結果から、7月前後に形成直後の新しい輪紋が観察されることから、縁辺成長率 α については今回改めて算出しなかった。

図2に同じく樋田ら(1976)の結果より体長(FL)と輪径(R)の関係を示した。これによるとFLとRの関係を2次式で表している。従来体長(FL)と鱗径(R)の関係は2次式で表されることが多かった。しかし、図2をよくみるとFL15cmの付近を境に2本の直線式で表されることがわかる。おそらくマダイの場合FL15cm前後を境に体型が変わるのではないかと考えられる。今回採集したマダイはFL20cm以上の個体であるため、直線式で近似できると推定され、図3に示した通り以下の直線式で表した。

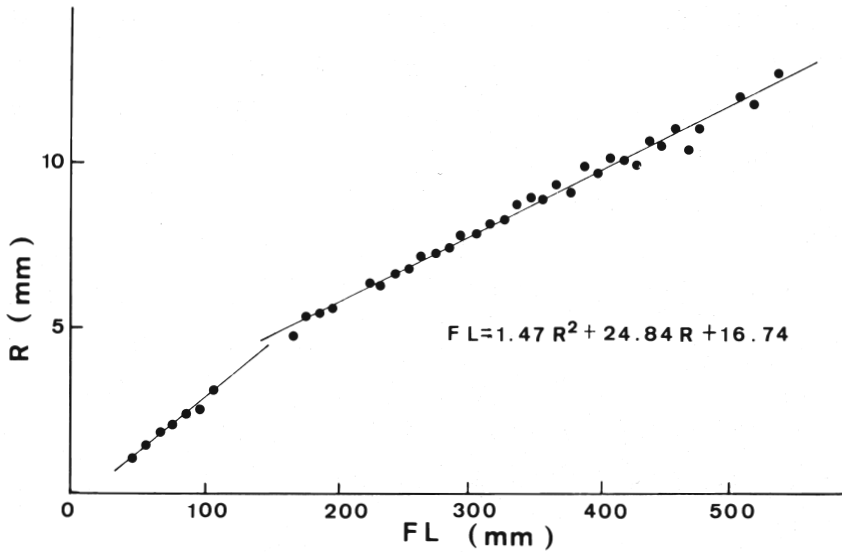


図2. 体長(FL)と輪径(R)の関係(樋田ら 1976)

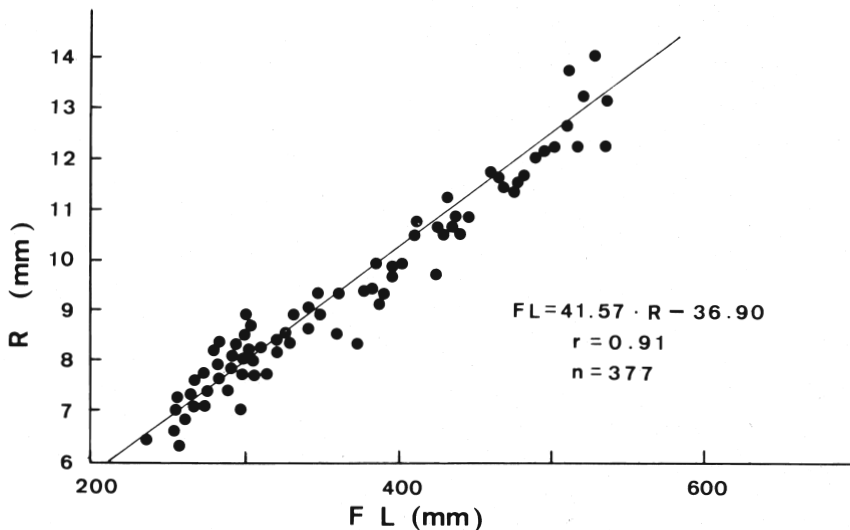


図3. 体長(FL)と輪径(R)の関係

$$FL = 41.57 \times R - 36.90 \quad (FL : \text{mm}, R : \text{mm})$$

$$(r = 0.91, n = 377)$$

このFLとRの関係式から次の式で補正した輪紋径 r_n^* を各個体について求めた。

$$r_n^* = r_n \times R^* / R$$

R : 計測した鱗径, r_n : 計測した鱗紋径, R^* : 体長から求めた計算鱗径

各輪数魚別に補正した輪紋径の平均を求め、更に同一輪数魚間で平均し標準輪紋径とした。これをもとに体長と輪径の関係式から輪紋形成時の体長を計算し、輪数魚別の平均輪紋径として表1に示した。これによると1才時の計算体長は8.5cmときわめて小さく、輪紋形成時の6月頃には実際のFLで12cm位のはずである。これはFLとRの関係を2次式ではなく直線式で求めたため、FL15cm以下では実状に合わずに実際より小さな値が出たためと推定される。計算体長は表に示した通り、2才で18.2cm、3才で24.7cm、4才で30.1cm、5才で34.1cm、6才で38.0cmとなった。対照として、樋田ら(1976)の輪数魚別平均輪紋径を表2に示した。これによると特徴的なことは標準輪紋径が今回出した結果よりいずれも小さい値となっている。その結果計算体長も今回の結果より3cm程小さくなっており、2

表1. 同一輪数魚別の平均輪紋径 (本報告1992)

	尾数	r 1	r 2	r 3	r 4	r 5	r 6	r 7	r 8	r 9	r 10
2 輪魚	32	2.69	5.28								
3 輪魚	130	2.73	5.14	6.82							
4 輪魚	107	2.69	5.20	6.87	8.28						
5 輪魚	47	2.81	4.90	6.50	7.83	8.95					
6 輪魚	27	3.02	5.18	6.67	7.97	9.08	10.03				
7 輪魚	13	3.20	5.25	6.59	7.73	8.59	9.57	10.52			
8 輪魚	8	2.89	5.15	7.02	8.31	9.32	10.22	11.11	11.96		
9 輪魚	8	3.38	5.74	7.01	8.31	9.26	9.92	10.82	11.74	12.56	
10輪魚	7	2.99	5.45	7.18	8.40	9.37	10.36	11.00	11.74	12.50	13.31
r の平均(mm)		2.93	5.25	6.83	8.12	9.10	10.02	10.86	11.81	12.53	13.31
計算体長(mm)		85	181.5	247.1	300.5	341.2	379.6	414.6	454.1	483.8	516.4

表2. 同一輪数魚別の平均輪紋径 (樋田ら1976)

	尾数	r 1	r 2	r 3	r 4	r 5	r 6	r 7	r 8	r 9	r 10
4 輪魚	14	2.82	4.89	6.64	8.13						
5 輪魚	6	2.78	4.79	6.27	7.81	8.75					
6 輪魚	24	2.63	4.33	5.75	7.15	8.35	9.32				
7 輪魚	13	2.61	4.35	5.76	6.90	8.11	8.95	9.73			
8 輪魚	22	2.43	4.21	5.58	6.74	7.55	8.83	9.62	10.34		
9 輪魚	6	2.62	4.41	5.62	6.76	7.67	8.51	9.31	10.06	10.60	
10輪魚	8	2.76	4.66	6.09	7.25	8.24	8.98	9.60	10.32	11.01	11.38
r の平均(mm)		2.66	4.52	5.96	7.25	8.11	8.92	9.57	10.24	10.81	11.38
計算体長(mm)		93	159	217	274	315	355	389	425	457	490

才で15.9cm, 3才で21.7cm, 4才で27.4cm, 5才で31.5cm, 6才で35.5cmとなっている。次に表2において特徴的なことは, $r_1 \sim r_7$ 位までは高年齢魚から得た輪紋値が低年齢魚から得た輪紋値に比べて顕著に小さい, いわゆるLee現象が認められることである。

図4に示したのは, 年齢別平均輪紋径ということで輪数魚別の平均輪紋径を回帰直線で結んだもので, 今回のデータである。 $r_1 \sim r_7$ 位まで右上がりの直線の傾向が見られ, Lee現象とは反対の反Lee現象といったものが認められる。久保・吉原(1969)によればLee現象の原因のひとつとして, 魚鱗の同一年輪間隔は高年齢の鱗から得たものは低年齢の鱗から得たものより小さく,

年齢に対してはほぼ定率で減少する(鱗の既成部分の収縮)ということあげている。表2に示した結果がLee現象を顕著に示しているのは, 鱗を採集したマダイの採集個体が6~8輪魚の大型個体が主体となっているからと思われる。逆に表1の今回の結果では3, 4, 5輪魚が主体となっているため, 反Lee現象が現れているのだろうか。いずれにしろマダイという同じ魚種でも, 採鱗の方法が異なればLee現象を示すこともあれば, 反Lee現象を示すこともあるということではないか。むしろ, 1才魚から6才魚位までの年齢を正確な値としてつかむのであれば(実際には市場の調査においては1才魚から6才魚位まででほとんどを占めるのが実態である), 1才魚から6才魚位までを主体にまんべんなく採鱗したほうが良いのではないか。

実測のデータとして1988年から1991年までの6月に採集されたマダイの年齢別体長組成と平均尾叉長を図5に示した。実測値では6才位まで計算体長より少し大きめに出ているが, 概ね計算体長と合致している。2才で実測値は19.2cm(計算値より約1cm大), 3才で26.0cm(約1cm大), 4才で32.1cm(約2cm大), 5才で35.6cm(約1cm大), 6才で37.9cm(ほぼ同じ)であり, 計算体長より1cm位大きいかほぼ同じ位となっている。ただ1才魚だけは実測値が12.4cmで, 計算体長が8.5cmと異常に小さい値となっている。実際には6月時点でFL12cm前後と推定されるので, 成長式の推定には1才魚のFLとして実測値の12.44cmを採用することにする。

この1才魚のFL値と2才魚以上については表1の結果を用いて, 東海区水研の資源解析プログラム集の本永・石岡(1988)のBertalanffyの成長曲線の当てはめ(定差図法)により, マダイの成長式を推定してみた結果が表3に示したものである。図6にはWalfordの定差図を示した。図6で明らかのようにきれいな直線を示している。計算結果(表3)によれば1才で12.3cm, 2才で18.5cm, 3才で24.2cm, 4才で29.3cm, 5才で33.9cm, 6才で38.2cmという結果になっており, 一応4~6月期の年齢別体長(FL)を示していると推定される。極限体長は80.2cmであり, ほぼ80cmである。以下に上記のプログラムを用いた演算結果の定差図式と成長曲線式を示した。

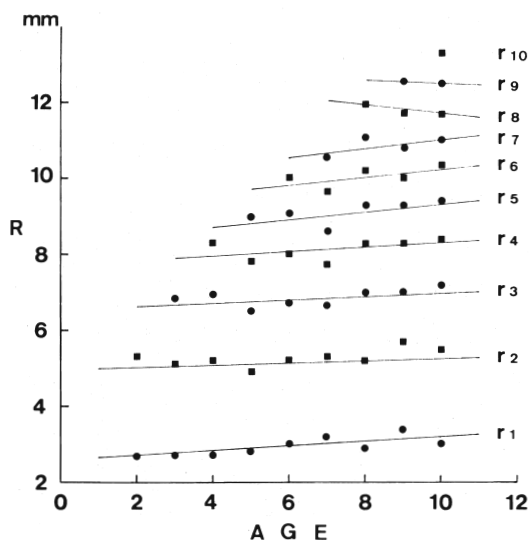


図4. 年齢別平均輪紋径

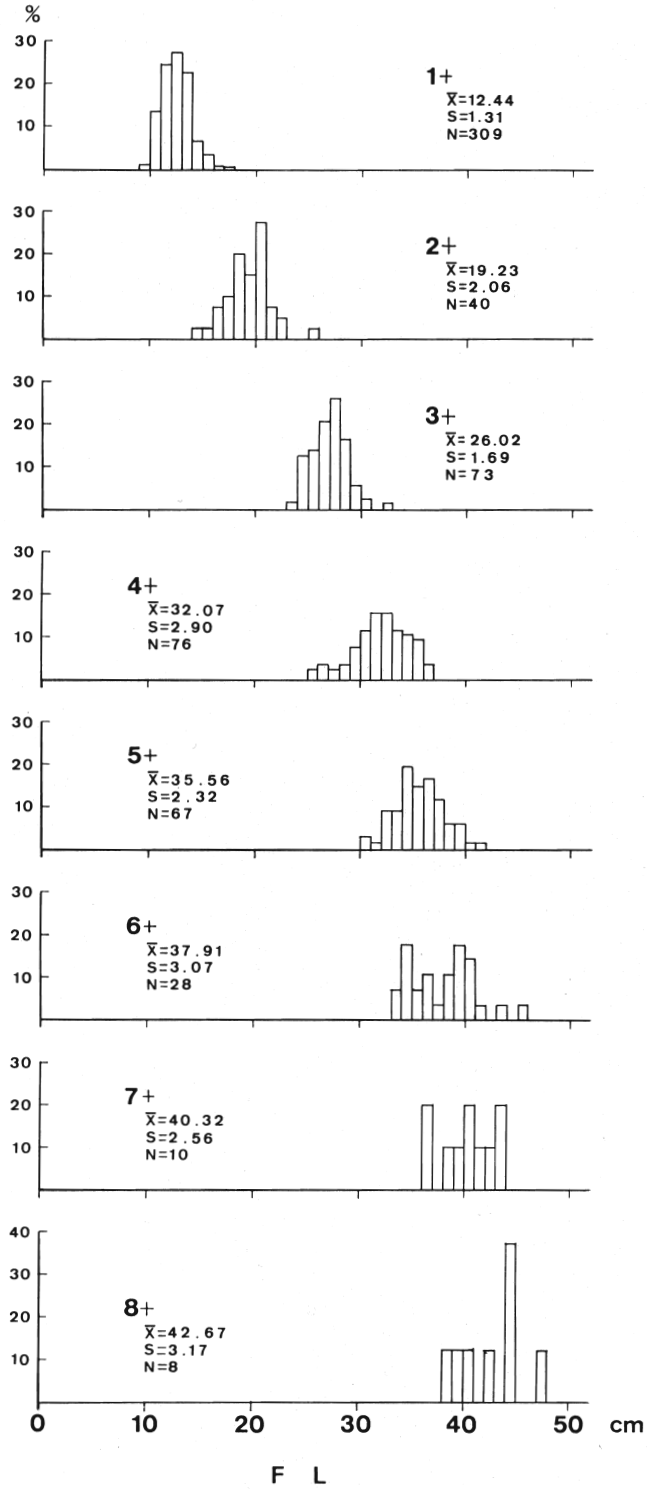


図5. 年令別体長組成・平均値・標準偏差（6月のデータ・1988—91年）

Walford の定差図式

$$L(t+1) = 7.33 + 0.90867L(t) \quad (r=0.9990)$$

von Bertalanffy の成長曲線式

$$L_t = 80.209 [1 - \exp\{-0.0958(t - (-0.7407))\}]$$

次に図7に10-12月期に採集されたマダイの年齢別平均体長と平均値の実測データを示した。1988年から91年までのデータであるが、この結果によると1才で18.4cm, 2才で23.5cm, 3才で28.3cm, 4才で35.8cm, 5才で38.9cm, 6才で41.8cmとなっている。この結果を用いて同じ東海区水研のプログラム集の方法により、秋期(10-12月期)の成長式を推定してみた。その結果を表4に示した。以下に演算結果の定差図式と成長曲線式を示した。

Walford の定差図式

$$L(t+1) = 7.49 + 0.90616L(t) \quad (r=0.9922)$$

von Bertalanffy の成長曲線式

$$L_t = 79.786 [1 - \exp\{-0.0985(t - (-1.6448))\}]$$

表3. マダイの成長式(4-6月)の計算結果

Age	Length	Estimate	L-E
1.00	12.440	12.317	0.123
2.00	18.150	18.518	-0.368
3.00	24.710	24.152	0.558
4.00	30.050	29.272	0.778
5.00	34.120	33.924	0.196
6.00	37.960	38.151	-0.191
7.00	41.460	41.993	-0.533
8.00	45.410	45.483	-0.073
9.00	48.380	48.655	-0.275
10.00	51.640	51.537	0.103

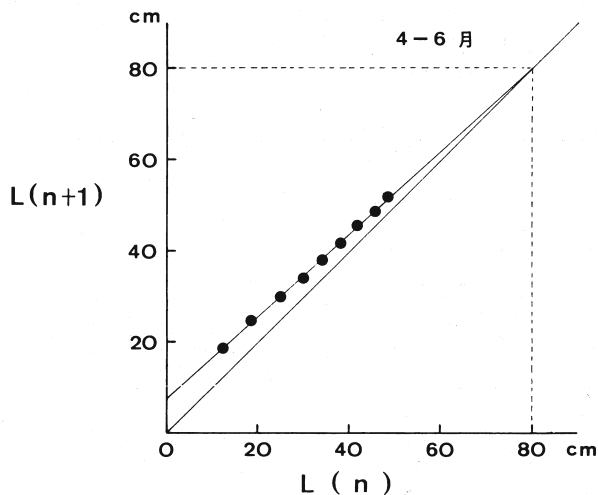


図6. Walfordの定差図(4-6月)

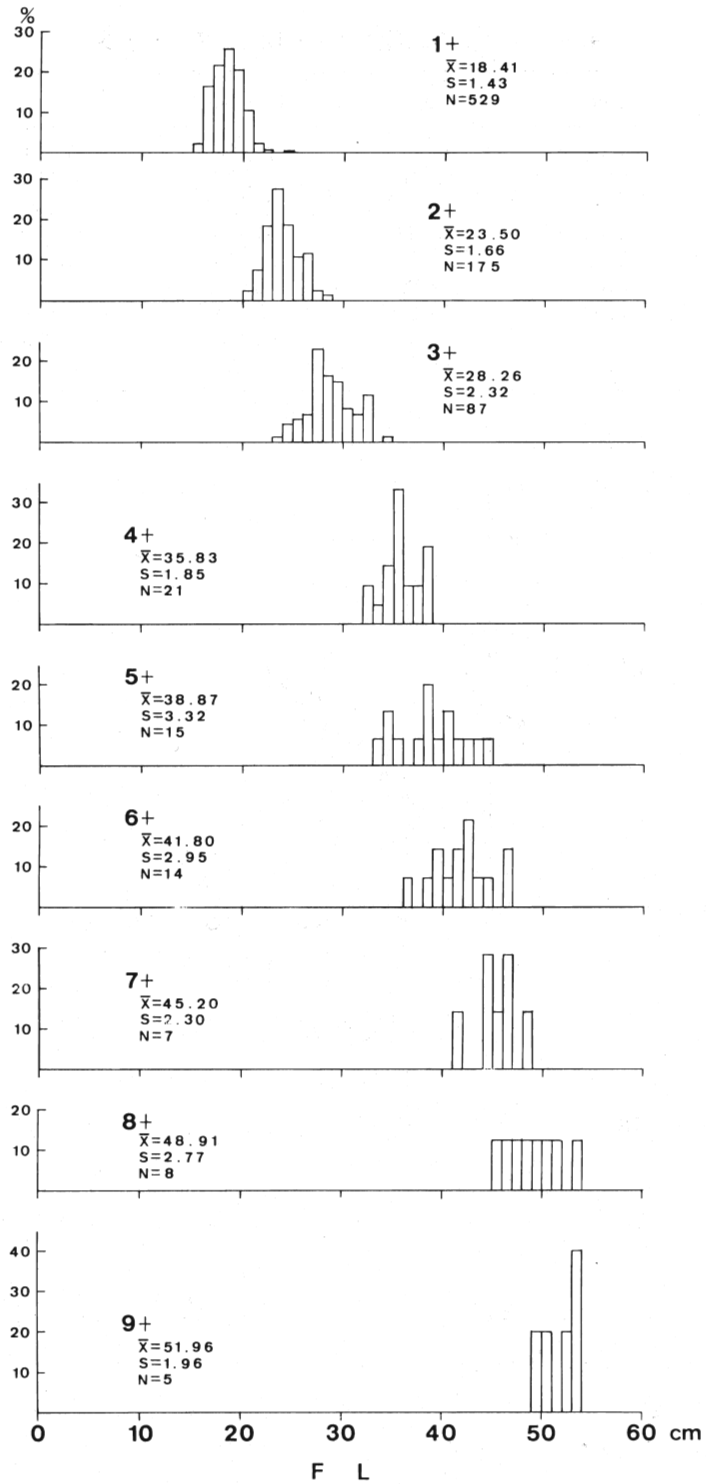


図7. 年齢別平均体長・平均値・標準偏差 (10~12月のデータ・1988-91年)

表4. マダイの成長式（10-12月）の計算結果

Age	Length	Estimate	L-E
1.00	18.41	18.306	0.104
2.00	23.50	24.075	-0.575
3.00	28.26	29.303	-1.043
4.00	35.83	34.041	1.789
5.00	38.87	38.334	0.536
6.00	41.80	42.224	-0.424
7.00	45.20	45.749	-0.549
8.00	48.91	48.943	-0.033
9.00	51.96	51.837	0.123

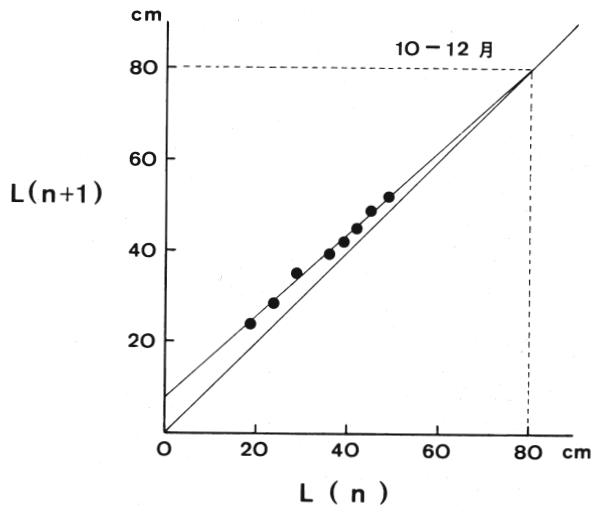


図8. Walfordの定差図（10～12月）

計算結果では1才で18.3cm, 2才で24.1cm, 3才で29.3cm, 4才で34.0cm, 5才で38.3cm, 6才で42.2cmとなっている。図8にWalfordの定差図を示したが、4-6月期の図（図6）ほどではないものの、ほぼきれいな直線を示している。そして極限体長は79.8cmとほぼ春の時期と同じく80cm程度となっている。

次に夏期の7-9月期の成長式を求めるに当たって、夏の年齢別平均体長は春（4-6月）の値と秋（10-12月）の値のほぼ半分位の中間の値を取るのではないかとすることを前提として考えてみる。すなわち春から秋にかけてはほぼ直線的な成長を示すであろうということである。そこで表5には7-9月の1才から3才魚までの体長組成と平均FL・標準偏差を示した。これは1990年の7-9月にごち網の試験操業によって得られたデータである。以下にこの表5の平均FLを左側の欄に示し、春のデータ（表3の計算値）と秋のデータ（表4の計算値）を足して2で割った値を右の欄に各々示した。

表5. ごち網により漁獲されたマダイの年齢別体長組成
(1990年7～9月)

FL (cm)	1 才	2 才	3 才	4 才	合 計
10	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0
13	4	0	0	0	4
14	103	0	0	0	103
15	146	0	0	0	146
16	110	0	0	0	110
17	55	4	0	0	59
18	26	58	0	0	84
19	1	124	0	0	125
20	0	188	0	0	188
21	0	168	0	0	168
22	0	97	0	0	97
23	0	36	1	0	37
24	0	7	2	0	9
25	0	1	3	0	4
26	0	0	1	0	1
27	0	0	0	0	0
28	0	0	2	0	2
29	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0
36	0	0	0	1	1
37	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0
合 計 (尾)	445	683	9	1	1,138
平均FL (cm)	15.88	20.81	26.18		
標準偏差	1.14	1.35	1.39		

1 才 15.9cm : $(12.3+18.3) / 2 = 15.3\text{cm}$

2 才 20.8cm : $(18.5+24.1) / 2 = 21.3\text{cm}$

3 才 26.2cm : $(24.2+29.3) / 2 = 26.75\text{cm}$

上記の結果のとおり両者の値はほぼ等しいものとなっており、最初に示した前提、すなわち春から秋には直線的な成長を示し、夏の年齢別平均体長の値は春と秋の中間の値を示すということがいえるのではないかと。

そこで表3と表4の計算結果である春と秋の各々の年齢別平均体長の値を足して2で割った値を、夏の年齢別平均体長の実測値として用いて計算した結果を表6に示した。以下に演算結果の定差図式と成長曲線式を示した。

Walfordの定差図式

$$L(t+1) = 7.40 + 0.90746L(t) \quad (r = 1.0000)$$

von Bertalanffyの成長曲線式

$$L_t = 79.988 [1 - \exp\{-0.0971(t - (-1.1882))\}]$$

計算結果では1才で15.3cm, 2才で21.3cm, 3才で26.7cm, 4才で31.7cm, 5才で36.1cm, 6才で40.2cmとなっている。図9にWalfordの定差図を示したが非常にきれいな直線を示している。極限体長は79.99cmとやはり限りなく80cmに近い値となっている。以上季節別にマダイの成長式を算出してみた。

表6. マダイの成長式(7-9月)の計算結果

Age	Length	Estimate	L-E
1.00	15.312	15.312	0.000
2.00	21.297	21.297	0.000
3.00	26.728	26.728	0.000
4.00	31.657	31.657	0.000
5.00	36.129	36.129	0.000
6.00	40.188	40.188	0.000
7.00	43.871	43.871	0.000
8.00	47.213	47.213	0.000
9.00	50.246	50.246	0.000

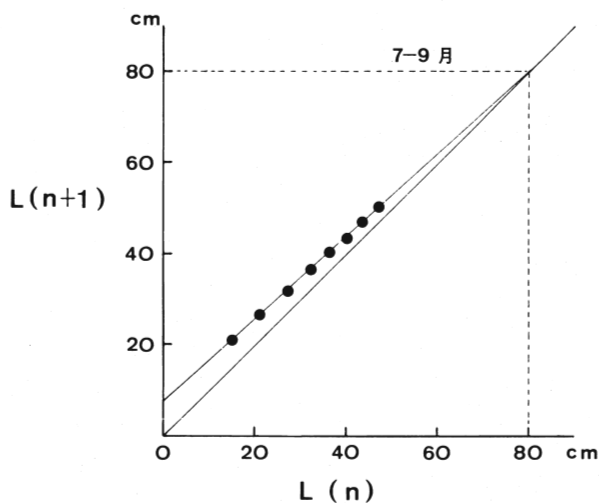


図9. Walfordの定差図(7~9月)

次に図10に年齢別平均体長 (FL : cm) と標準偏差 (S : cm) の関係ということで示したが、これは各時期に各年齢群の平均体長 (FL) を横軸に、その時の標準偏差 (S) を縦軸にとってその関係を示したものである。この結果によると平均尾叉長 (FL) と標準偏差 (S) の間には直線的な関係がみられるということである (相関係数 $r = 0.846$)。その関係式は以下の式で示される。

$$S = 0.0484FL + 0.651 \quad (n = 22)$$

すなわち年齢が大きくなるにつれ (FL が大きくなるに従って)、標準偏差も直線的に比例して大きくなるということである。藤川ら (1987) による隠岐島海域のマダイの場合には、やはり同じく平均 FL と標準偏差 S の関係をみているが、平均 FL 30cm 以下については直線式があてはまり、FL 30cm 以上については一定の値としている。また岡田 (1974) においては同じく年齢と FL の分散の関係を指数関数にあてはめている。すなわち年齢が高くなるにつれてその分散も比例的に大きくなるということはいえるのではないか。今回の結果では FL 30cm 以上でも直線的な関係がみられた。これにより、体長組成から年齢に分解する (年級分離する) 際に、多くの場合初期値として各年齢の FL の平均値と分散の値が必要であるが、平均 FL と分散 (S) の関係が直線関係で示されたということで初期値としての分散が求められる事になる。

以上春、夏、秋の季節別に成長式を推定したが、その計算結果をまとめて表7に示した。すなわち季節別の平均体長 (FL) と標準偏差 (S) を年齢別に示したものである。この結果によると、秋 (10-12月) の1才魚は FL 18.3cm であるものが、春 (4-6月) の2才魚の FL 18.5cm にほぼ等しい。同様に秋の2才魚の FL 24.1cm は春の3才魚の FL 24.2cm にほぼ等しい。秋の3才魚は FL

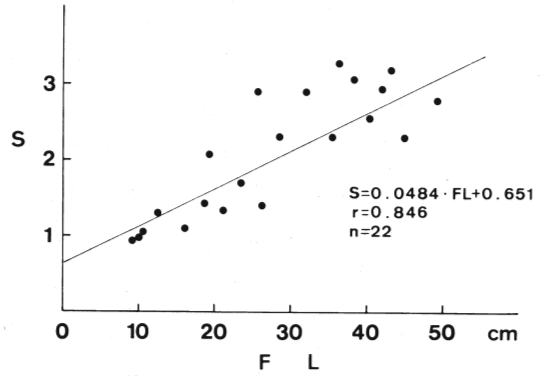


図10. 年齢別平均体長 (FL) と標準偏差 (S) の関係

表7. 季節別平均体長 (FL) と標準偏差 (S)

	4-6月	7-9月	10-12月
1才	12.32cm (1.25)	15.31cm (1.39)	18.31cm (1.54)
2才	18.52 (1.55)	21.30 (1.68)	24.08 (1.82)
3才	24.15 (1.82)	26.73 (1.94)	29.30 (2.07)
4才	29.27 (2.07)	31.66 (2.18)	34.04 (2.30)
5才	33.92 (2.29)	36.13 (2.40)	38.33 (2.51)
6才	38.15 (2.50)	40.19 (2.60)	42.22 (2.69)
7才	41.99 (2.68)	43.87 (2.77)	45.75 (2.87)
8才	45.48 (2.85)	47.21 (2.94)	48.94 (3.02)
9才	48.66 (3.01)	50.25 (3.08)	51.84 (3.16)
10才	51.54 (3.15)	53.00 (3.22)	54.45 (3.29)

() 内は標準偏差

29.3cmで春の4才魚のFL 29.3cmに全く一致している。秋の4才魚はFL 34.0cmで春の5才魚のFL 33.9cmにほぼ等しい。秋の5才魚はFL 38.3cmで春の6才魚38.2cmにほぼ等しい。渋谷ら(1982)によればマダイの場合、冬場にはほとんど成長しないという。このことを考え合わせると、上記のように秋のn才魚のFLの値が春のn+1才魚のFLの値にほぼ等しいということは、各季節(秋と春)の成長式がほぼ妥当なものではないかと考えられるわけである。そして表7のようなデータがあれば季節毎に体長組成から年齢に分解(年級分離)することが容易となり、各年齢のFLの初期値として使えるので便利となるであろう。

表8においては過去におけるマダイの年齢と成長のデータの比較ということで、秋田県の渋谷ら(1982)の出した成長のデータと山形県の樋田ら(1976)の成長のデータと本報告のデータを各々比較してみた。樋田ら(1976)の山形県のデータと比較してみると、各年齢において約3cm程本報告の方が大きくなっている。今回の結果はむしろ秋田県の渋谷ら(1982)の結果にほぼ近い結果となっている。1才魚に関しては渋谷ら(1982)と樋田ら(1976)のどちらの値も今回の結果よりも小さくなっている。1才魚に関しては輪紋から計算して出すよりも、実測値を用いた方がより実態に近い値になるのではないと思われる。極限体長を比較すると渋谷ら(1982)では86.2cm、樋田ら(1976)では73.8cm、今回の結果では80.0cmと両者のほぼ中間の値となっている。以上の結果より、山形県から秋田県の海域におけるマダイの成長については今回の調査結果と渋谷ら(1982)の結果がほぼ等しいことから、樋田ら(1976)の結果よりも上記の2つの結果の方がより実態に近い数値ではないかと推定された。

以上季節別に成長式を求めてきたが、市場調査の結果よりマダイの年齢組成を計算するに当たって、同じ年齢でも季節により体長もしくは体重がかなりずれることから、1年間通して同じ成長式で年齢分けするのは無理があり、年齢組成の実態を正確に把握できないものと思われる。従って例えば春、夏、秋、冬ごとに季節を区切って各々の成長式を用いて年齢に分解することができれば理想的であり、今回の調査結果によりそれが可能となったといえる。実際に市場調査の結果を解析する際には、体重の振り分けによって各年齢に分解することが調査の上で容易であり、そのような場合が多い。そこで併せて以下にマダイの体重の成長式も求めてみた。今回の調査結果ではマダイの体長(FL:cm)と体重(BW:g)の関係式は以下の式で示された。

$$BW = 0.0322 (FL)^{2.8729} \quad (n = 754, r = 0.999)$$

表8. マダイの成長の比較

	秋田県 渋谷ら(1982)	山形県 樋田ら(1976)	山形県 本報告(1992)
1才	10.5cm	9.3cm	12.3cm
2才	17.0	15.9	18.5
3才	23.0	21.7	24.2
4才	28.5	27.4	29.3
5才	33.5	31.5	33.9
6才	38.1	35.5	38.2
7才	42.2	38.9	42.0
8才	46.0	42.5	45.5
9才	49.5	45.7	48.7
10才	52.7	49.0	51.5
極限体長	86.2	73.8	80.0

この関係式を von Bertalanffy の成長式に換算して体重の成長式も併せて季節別に算出すると、以下の通りとなる。

〈4-6月〉

$$FL \text{ (cm)} : Lt = 80.209 [1 - \exp \{ -0.0958 (t - (-0.7407)) \}]$$

$$BW \text{ (g)} : BWt = 9517 [1 - \exp \{ -0.0958 (t - (-0.7407)) \}]^{2.8729}$$

〈7-9月〉

$$FL : Lt = 79.988 [1 - \exp \{ -0.0971 (t - (-1.1882)) \}]$$

$$BW : BWt = 9442 [1 - \exp \{ -0.0971 (t - (-1.1882)) \}]^{2.8729}$$

〈10-12月〉

$$FL : Lt = 79.786 [1 - \exp \{ -0.0985 (t - (-1.6448)) \}]$$

$$BW : BWt = 9373 [1 - \exp \{ -0.0985 (t - (-1.6448)) \}]^{2.8729}$$

文 献

- 岡田啓介 (1974) 東シナ海・黄海産マダイの漁業生物学的研究. 西水研研究報告, (44), 49-185.
- 国行一正・矢野 實・川西正衛 (1975) : 広島県中部海域におけるマダイ未成魚の年齢と成長. 南西海区水産研究所研究報告, 第8号, 81-88.
- 久保伊津男・吉原友吉 (1969) : 水産資源学. 改訂版, 共立出版, 東京, 129-134.
- 渋谷和治・加藤淳一 (1982) : 回遊性魚類共同放流実験調査事業報告書 (日本海中部海域マダイ班), 13-51.
- 樋田陽治・山岡 仁 (1976) : 昭和50年度浅海重要資源生態調査報告書, 山形県水産試験場, 24-32.
- 藤川裕司・竹森昭夫 (1987) : 隠岐島海域におけるマダイの年齢別尾叉長組成, 西海区ブロック浅海開発会議. 魚類研究会報, No. 5, 5-9.
- 本永文彦・石岡清英 (1988) : Bertalanffy の成長曲線の当てはめ (定差図法). 東海区水産研究所編 パソコンによる資源解析プログラム集, 26-34.