耳石日輪と0歳魚の体長別漁獲データから推定した クロマグロの産卵期別資源寄与率

伊 藤 智 幸*

(2008年12月1日受付, 2009年1月19日受理)

舩水産総合研究センター遠洋水産研究所

Contributions of different spawning seasons to the stock of Pacific bluefin tuna
Thunnus orientalis estimated from otolith daily increments and
catch-at-length data of age-0 fish

TOMOYUKI ITOH*

National Research Institute of Far Seas Fisheries, Fisheries Research Agency, Shimizu, Shizuoka 424-8633,
Japan

Contributions of different spawning seasons to the fishery stock of age-0 Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* were estimated. Spawning season estimated from otolith daily increments of 477 individuals from 17 to 93 cm in fork length ranged from March to October at the earliest which is longer than previously reported. Age-0 fish caught in Japanese fisheries in 1993-1997 were divided into two sub-cohorts by comparing monthly length data with the growth curves derived from otolith age data. Fish of one sub-cohort which were fertilized up to early July, probably in the area around Taiwan to the Nansei Islands, accounted for most (76%) of the age-0 catch. Fish of the second sub-cohort were fertilized after mid July, probably mainly in the Sea of Japan, and accounted for on average 24% of the age-0 catch, and as much as 40% in 1994.

キーワード: *Thunnus orientalis*, クロマグロ, 混合正規分布, 産卵期, 耳石日輪, 体長組成

クロマグロ *Thunnus orientalis* は、太平洋北西海域のみで生まれるが、一部は米国、メキシコ西岸沖まで太平洋を横断して数年間を過ごすなど、北太平洋温帯域に広く分布する。^{1,2)} 本種は経済価値の高い重要漁業種であり、日本、台湾、韓国、米国、メキシコなどの国々の様々な漁法によって尾叉長 15 cm から 200 cm 以上までの広い体長範囲で漁獲されている。³⁾ 本種は近年、北太平洋におけるマグロ類及び類似種に関する国際科学者委員会 (ISC) での資源評価を元に、2004 年に発効した西部及び中部太平洋における高度回遊性魚類資源の保存及び管理に関する条約に基づく、中西部太平洋まぐろ類委員会 (WCPFC) によって資源管理がなされるようになった。適切な資源管理のため、生物学的情報の蓄積がますます重要となってきている。

本種の加入資源水準は変動が大きいことが知られている。その原因は卵、仔稚魚の生残率に影響を及ぼす何ら

かの環境要因と考えられている¹⁾が、その機構の解明にはいつ、どこで産卵された集団が加入資源に重要かを詳細に知る必要がある。現在、生殖腺の発達した親魚の漁獲ならびに仔稚魚採集調査結果から、クロマグロの産卵は南西諸島近海で5月から6月に行われるものが主であり、そこで生まれた魚が加入資源を主に構成すると考えられている。しかし日本の0歳魚漁獲物の月別体長組成には複数のモードが認められることが報告されている。⁴⁻⁶⁾ また、他の時期、海域についても、少なくとも7月から8月の日本海や6月から7月の太平洋本州南岸沖での産卵が確認されている。^{7,8)} 従って、他の海域、時期に生まれた魚が資源に貢献している可能性はあるものの、産卵海域および産卵時期の範囲ならびにそれぞれの資源への寄与率は依然として明らかではない。

この問題の解明は、産卵親魚の漁獲情報や仔稚魚採集に基づく方法のみでは不十分である。環境要因による初

期生残率のわずかな変動が卵稚仔数と加入資源レベルとの関係を曖昧にするからである。また仔稚魚調査や親魚を対象とした漁業操業が産卵時空間全体をカバーしているとは限らない。一方、漁獲魚に基づく研究には、初期減耗を経た後の魚を対象とし、産卵時期、海域での調査が不要など、いくつかの長所がある。そこで本研究は、耳石日輪解析と組み合わせて、漁業データに基づいて産卵時期別の加入資源への寄与率を調べた。

試料および方法

耳石は、1992年から1997年に日本各地の水揚げ魚から採取した合計477個体分（尾叉長17～93 cm）のものを解析した。標本は、漁獲日または水揚げ日、体長の記録と共に、頭部または全身で送付され、耳石摘出の際に鰓耙数および胸鰭先端形状からクロマグロであることを確認した。日本沿岸ではコシナガ *T. tonggol* も産卵することが知られている⁹⁾が、コシナガであれば鰓耙が著しく少なく（20～25本、クロマグロは32～43本）、胸鰭先端が丸みを帯びる（クロマグロでは尖る）ことで区別される。¹⁰⁾ 耳石処理はキハダ *T. albacares* やミナミマグロ *T. maccoyii* などの他のマグロ属魚類の方法に準じた。^{11,12)} すなわち、耳石の表層を紙に浸した3N塩酸で溶かし去り、耳石全体を0.2 M エチレンジアミン四酢酸に2～3分間浸してエッチングし、金コーティングを施してから走査型電子顕微鏡（S-2300；日立製作所、東京）で電圧15 kVにて写真撮影した。核から後方角（postrostrum）までの耳石微細輪紋を写真上で3回数えた。計数者は漁獲位置、漁獲日、尾叉長、前回計数値の情報は持たず、また次回の計数は前回の計数から3日間以上経過してから実施した。3回の計数の平均値を解析に用いた。クロマグロの耳石日輪は受精後5日目に形成される¹³⁾ので、受精日は漁獲日から輪紋数分の日数を差し引き、さらに4日を引いて求めた。1歳までの成長は10日毎の平均体長に対して von Bertalanffy 式で表し、そのパラメータ値は最小二乗法で推定した。

本研究では日本漁業によるクロマグロ漁獲データのうち0歳魚のものを使用した。日本が漁獲する0歳魚は、太平洋全体の漁獲尾数の平均59%を占め、³⁾ その後の年齢での資源豊度を反映しており（辻祥子、未発表）、体長組成に複数のモードが明瞭に認められるからである。体長頻度データは、水産庁の日本周辺クロマグロ調査委託事業（平成5～8年度）および日本周辺高度回遊性魚類資源対策調査委託事業（平成9年度）で収集されたデータを基に、1993～1997年の日本のほぼ全てのクロマグロ漁獲物について年、月、県、海域別に体長別漁獲尾数を求めたデータセット³⁾から、年、月、海域（太平洋、または東シナ海を含めた日本海）別に求めた。多くの体長頻度は漁獲尾数に対してその月の体長測定

データを当てはめて求めたものである。しかし一部のレコードは、同月の体長測定データが十分に得られなかったことから漁獲とは異なる月の体長測定データで代用して推定したものであり、本研究でこれらは体長未推定のデータとして扱った。

年、月、海域別の体長頻度（尾叉長15～65 cm、1 cm階級）のある階級頻度 x を N 個（1～4個）の正規分布から成る混合正規分布モデル（次式）で近似した。^{14,15)} μ は各正規分布の平均値、 σ は標準偏差、 α は各正規分布の相対的大きさである。

$$p(x|\theta) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left(-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2}\right)$$

$$\theta = (\alpha_i, \mu_i, \sigma_i)$$

$$\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1$$

パラメータ初期値は、体長頻度分布のモードを最大4個選択して各正規分布の平均値 μ とし、各正規分布の $\sigma = 1.0$ 、各正規分布の $\alpha = 0.25$ とした。推定する α 値の個数は正規分布数より1個少ない（例えば $\alpha_4 = 1 - \alpha_1 - \alpha_2 - \alpha_3$ で計算できる）。Gauss-Newton法による非線形最小二乗法で残差平方和が最小となるよう正規分布数1から4までパラメータそれぞれの解を求め、AICを最小にするモデルを選んだ。選択した混合正規分布が体長頻度に適していない場合（ある正規分布の標準偏差が大きすぎるまたは小さすぎる）は、標準偏差の初期値を変えるか、次に小さなAIC値のモデルを選択した。耳石から求めた von Bertalanffy 成長式による月別体長と比較し、各正規分布の95%信頼区間（平均値 $\pm 1.96 \times$ 標準偏差）内に当てはまる発生時期（亜年級）にその正規分布の魚は属するとした。

最小二乗法によるパラメータ値推定には R（R Development Core Team, version 2.7.1）を用いた。

結 果

耳石輪紋の3回の計数の変動係数（CV）は0.0～16.0%、平均3.4%であった。この平均値は他のマグロ属魚類のクロマグロ、ミナミマグロ、コシナガの耳石輪紋における計数のCVと同等であった。^{9,12,16)} 輪紋10本ごとの平均CV値に輪紋数と有意な相関は無かった（*F*-test, $p > 0.05$ ）。

推定受精日は3月中旬から12月上旬に渡り、頻度は2峰形であった（Fig. 1）。太平洋沿岸で漁獲された魚の多くは5月中旬から6月下旬に受精し、日本海沿岸で漁獲された魚の多くはその時期に加えて7月中旬から8月下旬に受精していた。そこで、受精日が7月10日までの魚を亜年級1（SC1）、7月11日以降の魚を亜年級2（SC2）と定めた。

成長は180日まで早く、420日まででは遅くなり、その

後は再び早くなった (Fig. 2)。420 日齢までのデータから SC1, SC2 それぞれに von Bertalanffy 成長式パラ

メータを推定した。なお, SC2 の 190~220 日における当てはまりの悪い 3 個体は推定から除いた。日齢 t に対する尾叉長 $L(t)$ cm は次式で表された。

Fig. 1 Estimated dates of fertilization of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* based on otolith data. Closed bars, fish caught in the Pacific Ocean; open bars, fish caught in the Sea of Japan.

Fig. 2 Age and fork length of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* from which otoliths were examined ($n = 477$) with estimated von Bertalanffy growth curves for sub-cohorts SC1 and SC2.

Fig. 3 Monthly length-frequency data of Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* caught (A) in the Pacific Ocean and (B) in the Sea of Japan. Solid and dashed curves represent von Bertalanffy growth equations estimated from otolith age data of sub-cohorts SC1 and SC2, respectively. Closed bars are the total catch in number of the month > 10,000. Note that the length of the bar denotes relative value to the maximum frequency of the month. Red, blue and green lines for normal distributions are assigned to sub-cohorts SC1, SC2 and indetermined SC1 or SC2, respectively.

$$SC1; L(t) = 58.1(1 - e^{-0.0117(t-13.8)}) \quad (n=26)$$

$$SC2; L(t) = 65.0(1 - e^{-0.00657(t+30.5)}) \quad (n=20)$$

概して2つの成長曲線は日齢・体長プロットによく当てはまり、相互にはほぼ一致していた (Fig. 2)。詳細に見ると、SC2の成長は110日までSC1の成長を上回った。耳石データにおける受精日の2峰形分布に2つの正規分布を当てはめると、それらの平均日は6月14日と8月2日であり、これらをSC1, SC2それぞれの受精日と仮定して月別尾叉長(月の中央時点)を求めた。

月、海域別の最適混合正規分布は1から4個の正規分布で構成された (Fig. 3)。多くの場合 ($n=86$) で初期値から最適と思われる混合正規分布が得られ、標準偏差の初期値を変更する必要があったのは1例、最小のAICを与えた以外の正規分布の個数を選択する必要があったのは5例であった。正規分布の95%信頼区間内の下限がSC2の体長より大きければSC1に属し、95%信頼区間内の上限がSC1の体長未満であればSC2に属すとした。ただし、95%信頼区間内に両方の体長が含まれた場合、またはSC1の体長とSC2の体長との間に95%信頼区間が収まった場合は“SC1またはSC2”とした。

太平洋、日本海それぞれの各月の大型魚は、SC1の体長に良く合致していた。SC2が多く見られたのは日本海で1994年から1997年、太平洋で1994年と1997年であった。SC2に分類した正規分布でも、SC2の体長を大きく下回るものもあった。

Fig. 4 Monthly catches in number for age-0 Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* by sub-cohort caught (A) in the Pacific Ocean and (B) in the Sea of Japan.

亜年級別の海域、月別漁獲尾数を見ると、SC2は太平洋では11月から出現し、日本海では9月から出現していた (Fig. 4)。1~5月のデータが含まれない1997年級を除いて、亜年級に割り当てられた尾数の1993年級から1996年級の平均割合は太平洋ではSC1が $87 \pm 16\%$ (平均±標準誤差)、SC2が $13 \pm 16\%$ であった (Table 1)。日本海ではSC1が $72 \pm 19\%$ 、SC2が $28 \pm 19\%$ であった。“SC1またはSC2”ならびに体長未推定の尾数を、各月、海域でSC1, SC2に割り当てられた尾数の割合で配分し、太平洋と日本海を合算すると、日本の0歳魚漁獲は $76 \pm 18\%$ がSC1, $24 \pm 18\%$ がSC2に属していたと推定された (Table 1)。

考 察

本研究の耳石日輪数から推定した成長式による満1歳時の尾叉長 (57~60 cm) は、これまでの鱗の年輪、標識放流データ、耳石日輪、体長組成解析からの推定値と同様であった。^{2,4,6,16)} 冬季には成長が遅くなるとされており、⁶⁾ 本研究の180~420日間の遅い成長は冬季に相当していたためと考えられる。

クロマグロ仔稚魚の出現時期と海域について、米盛⁸⁾が発表した元のデータ (遠洋水産研究所所有) に矢部⁵⁾の情報を加え、旬別に解析したところ、仔魚の出現が見られたのは、南西諸島海域で5月上旬から6月下旬、 $133 \sim 150^\circ \text{E}$ の本州南~南東沖で6月下旬から7月上旬、日本海で8月上旬から8月中旬であった。

発達した生殖腺を持つ親魚の漁獲から推定される産卵時期と海域は、南西諸島海域では4月下旬から6月下旬である。⁵⁾ また中村^{17,18)}は、3月中旬ならびに4~5月にフィリピンのルソン島と南シナ海で、発達した卵巣を持つ親魚の漁獲を報告している。本州南東沖海域では、7月中旬の野島崎沖 (34°N , 145°E) においてまき網で漁獲した魚が、生殖腺重量と生殖腺の組織学的観察から産卵する状態にあったとの報告がある (石原幸雄, 未発表)。日本海では、発達した生殖腺を持つ親魚の漁獲情報、産卵と思われる行動の観察、生殖腺の組織学的観察から6月下旬から7月下旬に産卵が行われると報告されている (石原幸雄, 未発表)¹⁹⁻²²⁾ が、8月下旬までに及ぶことが最近分かっている (田中彰, 未発表)。

これまで仔魚採集調査において採集されたクロマグロ仔魚の全長を、矢部⁵⁾は4~18 mmで3~10 mmのものが多く、米盛⁸⁾は3~13 mm、平均5~6 mmと報告している。全長5~6 mmは、大西洋のクロマグロ *T. thynnus* の野生仔魚やクロマグロ飼育仔魚の知見から受精後10日程度の全長に相当する。^{13,23,24)} 産卵が仔魚採集の10日前と仮定し、過去の仔魚採集調査結果と発達した生殖腺を持つ親魚の漁獲情報を総合すると、クロマグロの産卵海域、時期は(1)3月中旬から5月のルソン

Table 1 Catches in number of age-0 Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* by sub-cohort SC1 and SC2 and location
A. Fish caught in the Pacific Ocean

Year class	SC1	SC2	SC1 or SC2	Length un-estimated	Total
1993	85,032 (91%)	8,498 (9%)	16,031	16,607	126,168
1994	335,048 (69%)	150,839 (31%)	63,521	48,176	597,584
1995	149,439 (93%)	10,670 (7%)	52,466	7,027	219,602
1996	425,662 (93%)	32,118 (7%)	19,835	13,453	491,069
1997	113,790 (80%)	27,839 (20%)	12,307	3,613	157,549
Mean $\pm$ SE	87 $\pm$ 16%	13 $\pm$ 16%			

B. Fish caught in the Sea of Japan

Year class	SC1	SC2	SC1 or SC2	Length un-estimated	Total
1993	54,088 (97%)	1,447 (3%)	1,421	165,540	222,496
1994	812,758 (57%)	602,043 (43%)	378,504	805,701	2,599,007
1995	181,000 (69%)	82,651 (31%)	45,359	152,974	461,984
1996	729,105 (65%)	384,279 (35%)	152,359	236,124	1,501,867
1997	54,244 (75%)	18,236 (25%)	34,081	43,716	150,277
Mean $\pm$ SE	72 $\pm$ 19%	28 $\pm$ 19%			

C. Total of fish caught in both the Pacific Ocean and the Sea of Japan

Year class	SC1	SC2
1993	331,401 (95%)	17,263 (5%)
1994	1,905,116 (60%)	1,291,475 (40%)
1995	522,126 (77%)	159,460 (23%)
1996	1,440,121 (72%)	552,816 (28%)
1997	239,048 (78%)	68,777 (22%)
Mean $\pm$ SE	76 $\pm$ 18%	24 $\pm$ 18%

The mean proportions are from the 1993–1996 year classes only, as the data for the 1997 year class, only including up to December 1997, were incomplete.

島から台湾にかけての海域、(2) 4 月下旬から 6 月下旬の台湾近海から南西諸島周辺海域、(3) 6 月下旬から 8 月下旬の日本海、(4) 6 月中旬から 7 月中旬の 133–150 °E の本州南～南東沖太平洋、と整理される。

本研究の耳石データは、産卵期が 3 月中旬から 12 月に渡ることを示した。これは既知の 3 月中旬から 8 月下旬に対応すると共に、その期間を少なくとも 10 月下旬まで拡大した。さらに 12 月上旬まで拡大していたかもしれないが、該当する個体数は少ないことから結論付けるには不十分であろう。5 月以前に産卵が行われることは、これまで仔魚採集個体がわずかで生殖腺の発達した親魚の漁獲もわずかであったことから十分には認識されてこなかった。8 月以降に産卵が行われることについては報告が無い。しかし、飼育魚ではクロマグロは 1 年のうち長い期間で産卵することが報告されている。²⁵⁾ さらに、0 歳魚の体長組成では主要なサイズより大型または小型の個体がまとまって見られることも報告されている。⁴⁻⁶⁾ 本研究における耳石解析データと体長組成データの両方から、5 月以前ならびに 8 月以降に産卵が行われることが強く示唆される。

発生海域を本研究データから明らかにすることはできないが、既存情報から SC1 の発生海域は台湾から南西諸島の海域に、おそらくルソン島までの海域を加えたものと思われる。日本海で漁獲された SC1 の魚は、従来想定されている通り東シナ海を経由して日本海へと回遊したものであろう。⁸⁾

SC2 の発生海域としては、日本海と、時期が若干早い本州南～南東沖が想定される。1980 年代に約 10,000 個体を放流（再捕 990 個体）した標識放流計画において、太平洋沿岸から放流した尾叉長 15 cm 以上のクロマグロのうち日本海に移動したものはなかった。⁸⁾ また、SC2 の漁獲時期が日本海で 9 月と太平洋の 11 月より早いことから日本海から太平洋への移動が示唆される。よって、日本海の SC2 の魚は日本海で生まれたものであり、太平洋の SC2 の魚は日本海で生まれたものと本州南岸沖で生まれたものの混合と考えられる。その混合割合の推定は困難であるが、SC2 の魚の多くが日本海で漁獲されていることからして、太平洋で漁獲される SC2 の魚の多くは日本海で生まれたと推論される。

SC2 の中でも 8 月以降に生まれた小型魚については、その産卵海域は不明である。しかし、漁獲の多くは日本海であること、日本海南部は産卵に必要とされる表面水温 24℃ 以上の条件⁵⁾を 1994～1997 年に少なくとも 9 月下旬まで満たしていたことからして、8 月以降の産卵は日本海で行われたと考えられる。仔魚採集による今後の検証が望まれる。

産卵場で漁獲される親魚のサイズは海域によって顕著に異なることが報告されている。²⁶⁾ 台湾近海では尾叉長 210 cm 以上、南西諸島海域と本州の南から南東沖では尾叉長 160～210 cm、日本海では通常 160～210 cm で年によって 120～160 cm の親魚が漁獲されている。産卵親魚の体長や年齢が亜年級間で異なっている可能性がある。

本研究において、各亜年級が産卵された期間および中間日は、耳石日輪データを全ての年で一括して解析した。耳石解析個体数が比較的多かった年級間の成長を比較した限りでは、顕著な違いは認められなかった。漁獲魚の体長頻度モードは耳石から求めた成長式と一致しているものも多かったが、しかし異なっているものもあった。Tanaka et al.²⁷⁾は、日本海で採集され日本海で発生したと推定した尾叉長 18～25 cm の幼魚のふ化日を 7 月上旬と報告している。各亜年級が産卵された期間の範囲、平均日、年毎の成長差についても今後の研究が必要である。

本研究の主要な結果の一つは、クロマグロ 0 歳漁獲魚の多く（平均 76%）は 5 月から 6 月に受精したものであったことである。これはクロマグロの既存の産卵生態についての知見を支持するものである。^{2,5,8)}しかし、7 月から 8 月といったより遅い時期のおそらく日本海での産卵も平均 24%、大きな年には 40% を占め、資源の重要な供給源になっていることが示唆された。日本海で生まれた魚についても本種の資源評価と資源管理において考慮すべきである。

謝 辞

クロマグロの水揚げデータならびに耳石サンプル収集にご尽力いただいた 21 道県の水産試験場等ならびに日本エス・ユー・エス株式会社の担当者に感謝します。有益な助言をいただいた FAO の辻祥子氏、東海大学の杉本隆成氏、東大海洋研究所の木村伸吾氏、北川貴士氏、IATTC の William Bayliff 氏に感謝します。

文 献

- 1) 山中 一. 「太平洋におけるクロマグロの生態と資源」日本水産資源保護協会, 東京. 1982.
- 2) Bayliff WH. A review of the biology and fisheries for northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Pacific Ocean. *FAO Fish. Tech. Pap.* 1994; **336**: 244–295.
- 3) 伊藤智幸. 太平洋全体におけるクロマグロの漁獲量, 年齢別漁獲尾数の推定. 遠洋水研報 2001; **38**: 83–111.
- 4) 横田滝雄, 通山正弘, 金井富久子, 野村星二. 魚類の食性の研究. 南海水研報 1961; **14**: 1–234.
- 5) 矢部 博, 上柳昭二, 渡辺久也. クロマグロの初期生態およびミナミマグロの仔魚について. 南海水研報 1966; **23**: 95–129.
- 6) 行縄茂理, 藪田洋一. クロマグロ *Thunnus thynnus* (Linnaeus) の年齢と成長について. 南海水研報 1967; **25**: 1–18.
- 7) 沖山宗雄. 日本海におけるクロマグロ後期仔魚の出現. 日水研報 1974; **25**: 89–97.
- 8) 米盛 保. 広域回遊性浮魚の資源増大を目指して—クロマグロの資源増大. 「海洋牧場—マリンランディング計画」(農林水産技術会議事務局編) 恒星社厚生閣, 東京. 1989; 9–59.
- 9) Itoh T, Yuki Y, Tsuji S. Spawning possibility and growth of longtail tuna, *Thunnus tonggol*, in the water around Japan. *Bull. Nat. Res. Inst. Far Seas Fish.* 1999; **36**: 47–53.
- 10) 岩井 保, 中村 泉, 松原喜代松. マグロ類の分類学的研究. 京都大学みさき臨海研究所特別報告 1965; **2**: 1–51.
- 11) Wild A, Foreman TJ. The relationship between otolith increments and time for yellowfin and skipjack tuna marked with tetracycline. *Bull. IATTC* 1980; **17**: 507–560.
- 12) Itoh T, Tsuji S. Age and growth of juvenile southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* based on otolith microstructure. *Fish. Sci.* 1996; **62**: 892–896.
- 13) Itoh T, Shiina Y, Tsuji S, Endo F, Tezuka N. Otolith daily increment formation in laboratory reared larval and juvenile bluefin tuna, *Thunnus thynnus*. *Fish. Sci.* 2000; **66**: 834–839.
- 14) 相澤 康, 滝口直之. MS-Excel を用いたサイズ度数分布から年齢組成を推定する方法の検討. 水産海洋研究 1999; **63**: 205–214.
- 15) 山田作太郎, 田中栄次. 「水産資源解析学」成山堂書店, 東京. 1999.
- 16) Foreman TJ. Estimates of age and growth, and an assessment of ageing techniques, for northern bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, in the Pacific Ocean. *Bull. IATTC* 1996; **21**: 71–123.
- 17) 中村広司. 既往の資料から見たマグロ延縄漁場. 南海水研報 1951; **1**: 1–144.
- 18) 中村広司. 「世界のマグロ資源(I)」日本水産資源保護協会, 東京. 1965.
- 19) 川名 武. 鮪は日本海に於て産卵す. 水産研究誌 1935; **5**: 284–286.
- 20) 依田 孝. 本道日本海のクロマグロについて. 北水試月報 1976; **33**: 2–11.
- 21) 依田 孝. 道西日本海のクロマグロ卵巣の成熟状態について. 北水試月報 1981; **38**: 211–221.
- 22) 川口哲夫. 鳥取県境港におけるまき網により漁獲された大型クロマグロについて. 水産海洋研究会報 1982; **41**: 92–98.
- 23) Brothers EB, Prince ED, Lee DW. Age and growth of young-of-the-year bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, from otolith microstructure. *NOAA tech. Rep. NMFS* 1983; **8**: 49–59.
- 24) Kaji T, Tanaka M, Takahashi Y, Oka M, Ishibashi N. Preliminary observation on development of Pacific bluefin tuna *Thunnus thynnus* (Scombridae) larvae reared in the laboratory, with special reference to the digestive system. *Mar. Freshwater Res.* 1996; **47**: 261–269.

- 25) 升間主計, 手塚信弘, 尾花博幸, 鈴木伸明, 野原健司, 張 成年. ミトコンドリアDNA 分析から推定した養成クロマグロの産卵生態. 水研センター研報 2003; **6**: 9–14.
- 26) Itoh T. Sizes of adult bluefin tuna *Thunnus orientalis* in different areas of the western Pacific Ocean. *Fish. Sci.* 2006; **72**: 53–62.
- 27) Tanaka Y, Mohri M, Yamada H. Distribution, growth and hatch date of juvenile Pacific bluefin tuna *Thunnus orientalis* in the coastal area of the Sea of Japan. *Fish. Sci.* 2007; **73**: 534–542.