

常磐南部～房総海域で漁獲されるマアジの年齢と成長, 成熟

多賀 真^{1,2†}・山下 洋²Age, growth and maturity of jack mackerel *Trachurus japonicus* off the Pacific coast of southern Joban-Boso areaMakoto TAGA^{1,2†} and Yoh YAMASHITA²

常磐南部～房総海域で漁獲されたマアジについて、生殖腺重量指数（GSI）による産卵期の推定、耳石横断切片による輪紋形成期の推定と年齢査定を行った。GSIの結果からは、成熟個体は6–8月にのみ出現していたため、この期間が本海域の産卵期であることがわかった。1歳での成熟個体は確認されず、本海域では2歳で成熟することが明らかになった。一方、耳石の縁辺成長率の推移から、本海域のマアジの輪紋形成期は5–9月と推定され、GSIから推定された産卵期とほぼ一致した。これらの結果に基づいて、7月を年齢起算月として漁獲時点での年齢と尾叉長から von Bertalanffy の成長式にあてはめたところ、 $L_t=29.4(1-e^{-0.38(t+1.08)})$ ($0.33 \leq t \leq 19.67$) となった。本海域のマアジは熊野灘以西の海域と比較して成長が遅く、高齢魚が多い傾向にあった。本海域はマアジの適生水温を下回る期間が長いことから、低水温環境が低成長、高寿命と関連している可能性が示唆される。

キーワード：マアジ、耳石、成長、成熟、常磐南部、房総

Spawning season of jack mackerel *Trachurus japonicus* collected off the Pacific coast of southern Joban-Boso area was examined based on gonadosomatic index (GSI). Period of otolith annual ring mark formation and age were estimated based on transversal sections of sagittal otoliths. The GSI data showed that the matured individuals appeared from June to August, which was considered to be the spawning season. The age at first maturity was estimated as 2 years old in this area. Measurement of otolith marginal increments showed that annual ring marks were formed from May to September, which approximately corresponded to the spawning season. The von Bertalanffy growth curve calculated from fork length (L_t) and age at catch (t) was expressed as follows: $L_t=29.4(1-e^{-0.38(t+1.08)})$ ($0.33 \leq t \leq 19.67$). According to the growth equation, the present samples from the Pacific coast of Joban-Boso area showed lower growth rate than those from Kumano-nada and its western area, with a high proportion of older fish in the study area. The low growth rate and long life of jack mackerel in the study area is probably attributable to a shorter period of optimal temperature for their growth.

Key words: jack mackerel, otolith, growth, maturity, southern Joban, Boso

はじめに

マアジ *Trachurus japonicus* は大衆魚として知られ、本邦では漁業資源としての重要性が高いことから、Total Allowable

Catch (TAC) 対象種として、対馬暖流系群（依田ほか、2018）と太平洋系群（亘ほか、2018）に分けて資源評価が行われている。このうち太平洋系群は、九州から東北に至る太平洋沿岸各地で漁獲対象となり、特に西日本では漁獲物としての価値が高い。本系群の資源量は1980年代後半から増加し、1996年には16万トンに達したが、それ以降は緩やかに減少し続け、2016年には4万トンまで落ち込んだ（亘ほか、2018）。本系群には東シナ海を主産卵場とする群と各地先で産卵する地方群が含まれるとされ、漁獲量の水準が低下すると地方群が主体になると考えられていることから（古藤、1990）、近年地方群の重要性が高まっていると推察される。地方群はその産卵期が海域によって異

2018年3月15日受付、2018年8月8日受理

¹ 茨城県水産試験場、〒311-1203 茨城県ひたちなか市平磯町三ツ塚3551-8

Ibaraki Prefectural Fisheries Research Institute, 3551-8 Mitsuzuka, Hiraiso, Hitachinaka, Ibaraki 311-1203, Japan.

² 京都大学フィールド科学教育研究センター、〒606-8502 京都市北白川追分町

Field Science Education and Research Center Kyoto University, Kitashirakawa-Oiwakecho, Kyoto 606-8502, Japan.

† m.taga@pref.ibaraki.lg.jp

なるなど (木幡, 1972; 澤田, 1974; 阪本ほか, 1986; 阪地, 2001), 生態的特徴に地域差があると考えられており, 地先ごとの資源特性を把握することが資源管理において重要である。

房総以北海域においては, 北部太平洋海区で操業する大中型まき網漁業 (以下, 北まき) によるマアジの漁獲量が最も多く, ほかに底曳網や定置網などで漁獲されている。しかし, 北まきの主な漁獲対象種はいわし・さば類であり, マアジはこれらの漁獲が不調な場合に漁獲努力が増加する補完的操業対象種である (堀, 1994)。このため, 北まきにとって漁獲対象種としてさほど重要視されていない。また底曳網や定置網においても混獲物として扱われるにすぎないことから, 本海域における産卵期や成熟に関する知見はほとんどなく, 東北太平洋海域での稚魚の採集量から産卵期を推定した報告があるにすぎない (川崎, 1959)。さらに, 本海域における漁獲物の年齢組成や成長速度に関する知見は非常に乏しい。

近年, マアジ太平洋系群の資源量が減少する中で, 太平洋北区での漁獲量は太平洋中区, 南区ほど減少していない (亘ほか, 2018)。さらに, 本海域では1歳以上のマアジが主体となって漁獲されることから (亘ほか, 2018), 資源低水準期におけるマアジ太平洋系群の再生産において重要な役割を担う可能性がある。そこで, 本研究では, 常磐南部～房総海域で漁獲されるマアジの基礎的な生態学的知見を得るため, 生殖腺重量指数 (GSI) の季節変化から産卵期を推定するとともに, 耳石横断薄層切片による輪紋形成期の推定および年齢査定により, 本海域における成熟と成長について検討した。

材料と方法

2015年6月から2017年4月にかけて常磐南部～房総海域 (Fig. 1) において操業した北まき船および底曳網船 (民間船および調査船) によって漁獲されたマアジ678個体を解析に用いた (Table 1)。すべての標本について, 尾叉長 (Fork length, FL; 0.1 cm単位) および体重 (Body weight, BW; 0.1 g単位), 生殖腺重量 (Gonad weight, GW; 0.01 g単位) を測定し, 生殖腺重量指数 (Gonadosomatic index, GSI) を以下の式 (1) により求めた。

$$GSI = \{GW / (BW - GW)\} \times 100 \quad (1)$$

産卵期を推定するため, 依田ほか (2004) に従い, GSIが3以上の雌個体を成熟個体, 3未満の雌個体を未成熟個体と定義した。一方, 雄個体については知見がないため, 成熟の判定は行わなかった。なお, 生殖腺が小さすぎるために摘出が困難であった個体は除外した。

上記の測定後に全標本の頭部から耳石 (扁平石) を摘出して乾燥保存し, 以下の方法で横断薄層切片を作成した。乾燥させた頭部右側耳石のロストラム側を油粘土に固定

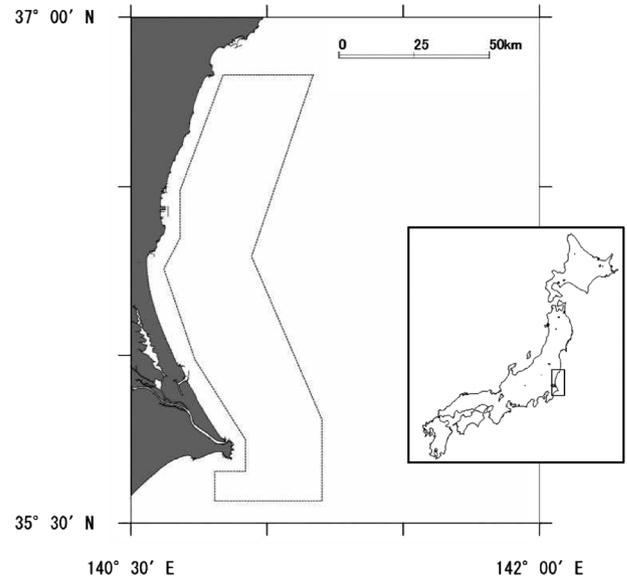


Figure 1. Sampling location off the Pacific coast of southern Japan-Boso area.

し, 不飽和ポリエステル樹脂 (冷間埋込樹脂No. 105, 丸本ストラス社) で包埋した。ただし, 右側耳石が破損した場合は左側耳石を用いた。包埋した耳石は樹脂を十分に硬化させた後, ゼーゲミクロトーム (1600型, Laica社) を用いて耳石の核 (Fig. 2) を挟むように厚さ200–300 μmに切断し, 横断薄層切片を作成した。作成した切片はスライドガラス上にステッキワックス (#68, マルトー社) で固定し, 表面に透明マニキュアを塗布してから生物顕微鏡 (BX-51, オリパス社) で観察した。

マアジの耳石横断面には透明帯と不透明帯が交互に出現し, 不透明帯は年に1本形成されることが明らかになっている (Yoda et al., 2014)。そこで, 本研究においても不透明帯を年輪として扱い, 耳石計測ソフトウェア (ARP-W ver.5.31, ラトックシステムエンジニアリング社) を用いて, 核から各不透明帯の内側縁辺部までの距離を計測した。計測は耳石溝部の背側 (Fig. 2) において行い, 以下の式 (2) により縁辺成長率 (Marginal increment, MI) を求め, 月によるMIの変化を調べることで輪紋形成期を推定した。

$$MI = (R - r_n) / (r_n - r_{(n-1)}) \quad (2)$$

ただし, R は耳石径, r_n は核から n 番目の年輪までの距離を表す。年輪が形成されていなかった個体は本解析から除外し, 年輪数が1の個体については $r_{(n-1)} = 0$ とした。年輪は形成される毎に間隔が狭くなることから (Fig. 2), 若齢魚のMIは高齢魚と比べて低くなるため, 年輪数が異なる個体間でMIを単純に比較することには問題がある。そこで本研究では, 年輪数が1の個体についてはMIが0.2未満, 0.2以上0.4未満, 0.4以上0.6未満, 0.6以上の4区分,

Table 1. Sampling date, fishing gear, range of fork length (FL) and the number of fish which were used for age determination and maturation.

Year	Month	Fishing gear	Range of FL (cm)	Number of otoliths examined	Number of gonads examined	
2015	Jun.	purse seine, bottom trawl	12.8–32.3	61	61	
	Aug.	bottom trawl	17.8–28.7	43	43	
	Oct.	bottom trawl	16.8–28.8	39	8	
	Nov.	bottom trawl	26.6–30.5	3	3	
2016	Jan.	bottom trawl	13.9–29.9	29	25	
	Apr.	bottom trawl	27.0–34.1	2	2	
	May	bottom trawl	14.9–31.0	26	26	
	Jun.	purse seine, bottom trawl	11.6–32.2	98	82	
	Jul.	purse seine, bottom trawl	15.5–30.6	65	64	
	Aug.	bottom trawl	14.2–23.4	30	20	
	Sep.	bottom trawl	14.2–30.4	55	51	
	Oct.	bottom trawl	19.4–27.8	20	20	
	Nov.	bottom trawl	14.1–29.6	35	33	
	Dec.	bottom trawl	9.3–29.1	31	10	
	2017	Jan.	bottom trawl	8.9–17.8	15	0
		Feb.	bottom trawl	19.3–27.2	39	39
Mar.		bottom trawl	14.2–38.7	46	46	
Apr.		purse seine	18.6–32.5	41	40	

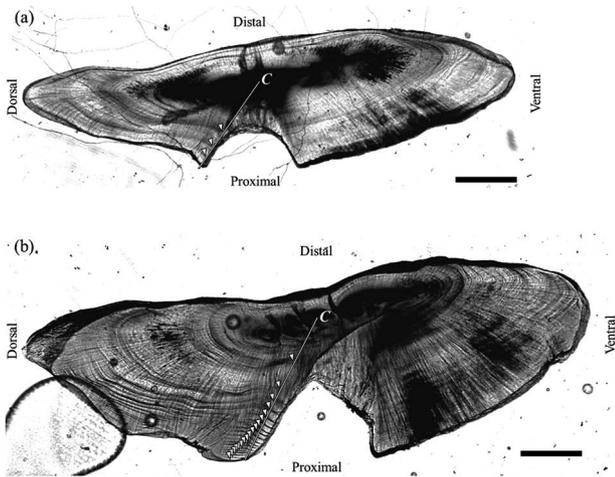


Figure 2. Otolith section of jack mackerel *Trachurus japonicus* sampled on July 12 (a, FL: 25.0 cm; ring marks: 3) and sampled on July 21 (b, FL: 28.4 cm; ring marks: 18). C: core; White line: measurement line used for calculation of marginal increment (MI); White arrows: ring marks. Bar indicates 500 μm .

年輪数が2以上の個体についてはMIが0.3未満, 0.3以上0.6未満, 0.6以上0.9未満, 0.9以上の4区分に分けて, 採集月ごとにそれぞれの区分に占める個体数の割合を求めた(井関ほか, 2017). さらに, 年輪数がそれぞれ1, 2–4, 5以上の3群に分けて月別のMIを比較した. ただし, 年輪数5以上の個体は2月に採集されなかったため欠測となっている.

各標本の年齢査定を行うため, 耳石横断面に出現した年輪数を計数した. 得られた結果から, 後述する産卵盛期と推定された7月をふ化月(年齢起算月)として採集月時点での月齢を求め, これを小数点以下を含んだ年齢に換算した. すなわち, 10月に年輪数1の個体が採集された場合, この個体は15ヶ月齢, 1.25歳とした. 個体毎の年齢とFLから, エクセル(マイクロソフト社)のソルバー機能を用いて以下に示した von Bertalanffy の成長式(3)の各パラメーターを非線形最小二乗法により求めた.

$$L_t = L_{\max} (1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (3)$$

ただし, L_t は年齢 t における尾叉長, L_{\max} は極限体長, K は成長係数, t_0 は $L_t=0$ としたときの年齢を表す. なお, マアジの成長に雌雄差はないことから(西田・長谷川, 1994; Yoda et al., 2014), 本研究では雌雄を区別せず分析した.

統計解析

産卵期におけるGSIの雌雄差について, ウェルチの t 検定で比較した. 産卵期におけるFLとGSIの関係, および年齢とGSIの関係について, 線形回帰によるピアソンの積率相関分析を行った. 解析には統計パッケージR ver.3.2.2 (R Foundation for Statistical Computing) を用いた.

結果

産卵期と成熟

1–5月に漁獲された個体のGSIは最大でも2.7と低く, 雌については全個体が未成熟であった(Fig. 3). 6月に雌雄と

もにGSIが急増し、GSIの最大値は雄で9.8、雌で16.6に達した。7-8月にもGSIが高い個体が多数出現したが、9月以降は減少し、9-12月には成熟個体が確認されなかった。GSIが高い個体が出現した6-8月において、6-7月にはGSIに雌雄差は認められなかったが、8月には雌で有意に高かった。生殖腺が小さく雌雄の判別ができなかった個体は117個体で、GSIの範囲は0.01-0.75であった。これらの結果から、本研究では6-8月を産卵期と定義し、7月を年齢起算月とした。

産卵期におけるFLとGSIの関係をみると、雄ではすべての月でFLとGSIの間に有意な正の関係が認められた (Fig. 4a)。一方雌では、6-7月にはFLとGSIの間に有意な正の関係が認められたが、8月には有意な関係は認められなかった (Fig. 4b)。雌においては、FL18.2 cm以上で成熟個体が出現し始め、FL22 cm以上で成熟個体の割合が急増した (Fig. 4b)。FL22 cm未満の成熟個体の割合は、6月で7.4%、7月で0%、8月で43.5%であった。FL22 cm以上の成熟個

体の割合は、6月で64.3%、7月で81.8%、8月は0%であった。

年齢と産卵期におけるGSIの関係をみると、6月、8月の雄には有意な正の関係が認められたが、7月の雄、6-8月の雌には有意な関係は認められなかった (Fig. 5)。雄、雌ともに7歳以上では3-6歳と比較してGSIが低い傾向にあった。雌の成熟個体の割合は、1歳では0%、2歳では6月で4.5%、7月で0%、8月で60.0%、3歳以上では6月で62.2%、7月で81.8%、8月で20.0%であった (Fig. 5b)。

輪紋形成期

年齢数が1の個体においては、MIが0.2未満の個体の割合は5-8月にかけて高く、5月に50%、6月に69%、7月に45%、8月に79%であった (Fig. 6a)。MIが0.2以上0.4未満の個体は周年出現したが、特に9-12月と2月、4月に多く、全体の80%以上を占めた。0.4以上0.6未満の個体は1月、3月、5月には30%以上の割合で出現したが、他の月では低かった。0.6以上の個体は1月にのみ出現した。

年齢数が2-4の個体においては、MIが0.3未満の個体は

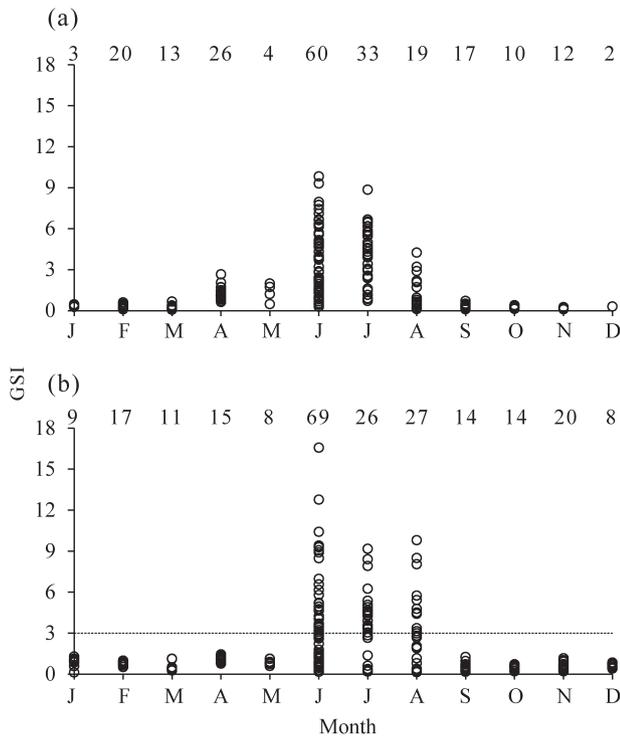


Figure 3. Monthly changes of the gonadosomatic index (GSI) for male (a) and female (b) of jack mackerel. Number above the plots indicates sample size (*n*) for each month. Horizontal dashed line in female indicates the criterion of maturity ($GSI \geq 3$). GSI was not significantly different between male and female in June and July (Welch's *t*-test, $p=0.91$ in June and $p=0.62$ in July), but female was significantly larger in August (Welch's *t*-test, $p<0.05$) than male. Range of GSI with unidentified sex was 0.01-0.75 ($n=117$, data not shown).

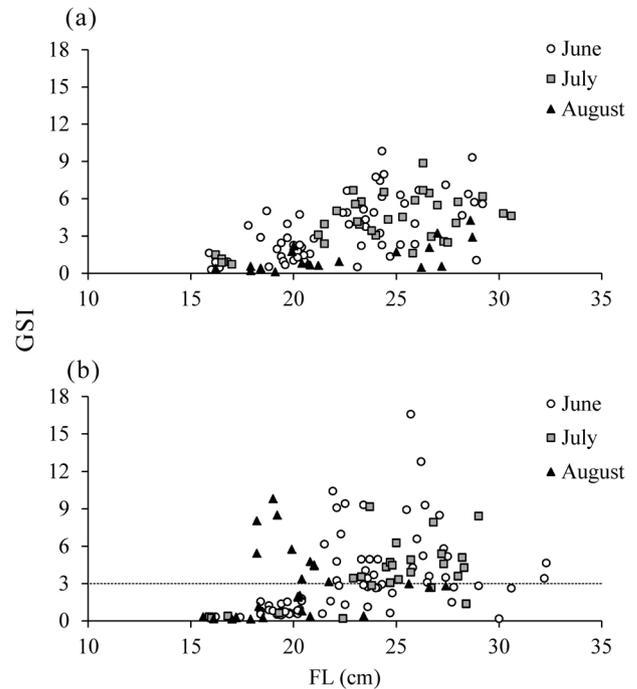


Figure 4. Relationships between fork length (FL) and gonadosomatic index (GSI) for male (a) and female (b) during spawning season (June, July and August). Horizontal dashed line in female indicates the criterion of maturity. Significantly positive relationship was found between FL and GSI for male in June ($r=0.61$, $p<0.01$), July ($r=0.59$, $p<0.01$) and August ($r=0.68$, $p<0.01$). Significantly positive relationship was found between FL and GSI for female in June ($r=0.40$, $p<0.01$) and July ($r=0.62$, $p<0.01$), but the relationship was not significant in August ($r=0.11$, $p=0.58$).

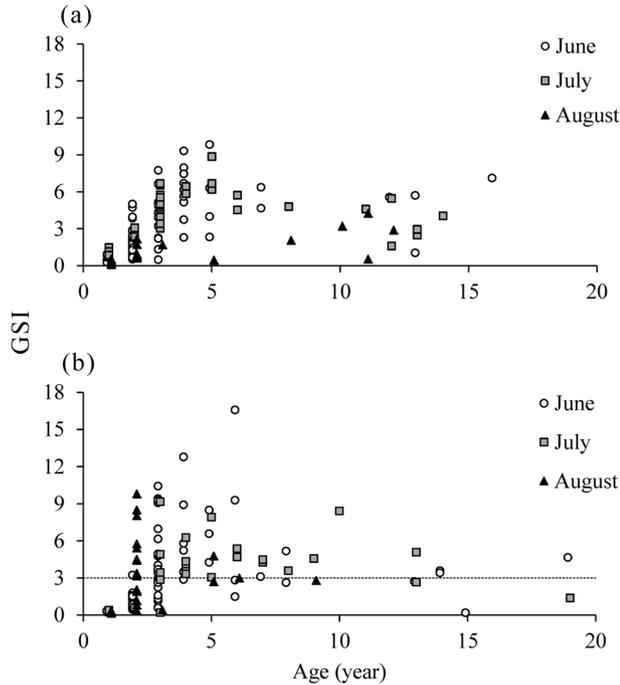


Figure 5. Relationships between age and GSI for male (a) and female (b) during spawning season (June, July and August). Horizontal dashed line in female indicates the criterion of maturity. Significantly positive relationship was found between age and GSI for male in June ($r=0.40, p<0.01$) and August ($r=0.70, p<0.01$), but the relationship was not significant in July ($r=0.06, p=0.76$). The relationship between age and GSI for female was not significant in June ($r=0.16, p=0.19$), July ($r=0.17, p=0.42$) and August ($r=0.16, p=0.41$).

6-9月に出現し、6月に51%、7月に47%、8月に45%、9月に7%と徐々に減少していた (Fig. 6b). 0.3以上0.6未満の個体の割合は、5-7月にかけて減少した後、8-9月にかけて増加し、10-11月には再び減少した。0.6以上0.9未満の個体は周年出現し、1-5月は比較的高い割合を占めたが、6-8月にかけて減少した後、9月以降は徐々に増加し、12月には100%となった。0.9以上の個体は3月に最も多く出現したが、他の月における割合は低く、1月、5月、8-12月には確認されなかった。

年輪数が5以上の個体においては、MIが0.3未満の個体は6-9月に出現し、6月に16%、7月に13%、8月に42%、9月に17%を占めた (Fig. 6c). 0.3以上0.6未満の個体は6-11月に出現し、6-8月は低水準であったが、9月に最大となった後、10-11月にかけて減少した。0.6以上0.9未満の個体は欠測の月を除くと9月以外の月に出現し、1月には高い割合を占めたが、3月には大きく減少し、その後4-5月にかけて増加した。6-8月には再び減少し、10月以降は増加した。0.9以上の個体は3月に最も多く、他の月に占める割合は低かった。

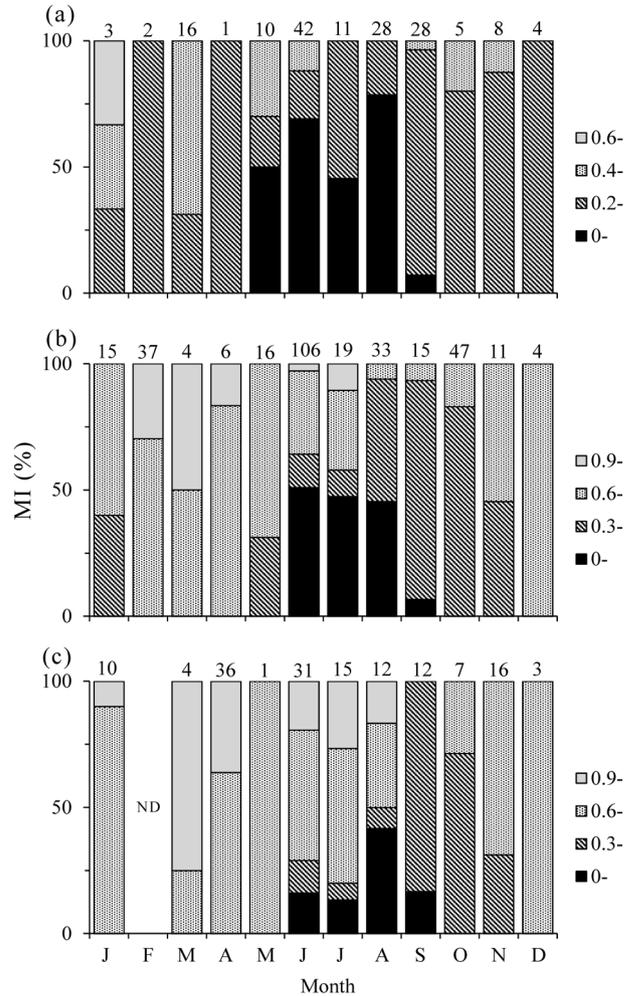


Figure 6. Rate of marginal increment (MI) level of jack mackerel which represented 1 ring (a), 2-4 rings (b) and ≥ 5 rings (c) in the otolith section. Numbers above each bar indicate sample sizes (n).

年齢と成長

耳石横断薄層切片による年齢査定の結果、0-19歳まで確認された (Fig. 7, Table 2). FL25 cm未満の個体はほぼ4歳以下で占められたが、FL25 cm以上の個体では3-19歳まで幅広い年齢が出現した。また、von Bertalanffyの成長式は以下の通り求められた。

$$Lt=29.4(1-e^{-0.38(+1.08)t}) \quad (n=678, r=0.94) \quad (4)$$

この式から、各年齢時のFLは、1歳で16.0 cm、2歳で20.2 cm、3歳で23.1 cm、4歳で25.1 cm、5歳で26.4 cm、6歳で27.4 cmと算出された。6歳以上になると成長が著しく鈍化し、10歳以上ではほぼ停滞した (Fig. 7)。

考察

産卵期と成熟

常磐南部～房総海域で漁獲されたマアジにおいて、GSIが3以上の雌の成熟個体は6-8月にのみ出現したことから、本海域における産卵期は6-8月と推定された。マアジ太平洋系群の資源動向は東シナ海からの補給量に大きく左右されると考えられているが(古藤, 1990), 東シナ海での主産卵期は2-4月であり(Sassa et al., 2006, 2016), 同じく2-4月ごろに産卵された群が太平洋沿岸に補給されると推測されている(木幡, 1972)。一方, 本系群の各地方群の産卵期

は宿毛湾で1-6月(阪地, 2001), 紀伊水道で2-6月(阪本ほか, 1986), 伊豆近海で5-7月(澤田, 1974), 相模湾で5-6月(木幡, 1972)であり, 西から東に移動するにつれて産卵期が遅くなる傾向にある。本研究で得られた常磐南部～房総海域の産卵期は, 既往の知見よりもさらに遅く, その傾向も一致した。また, 2015-2017年において, 本海域のマアジ卵・仔魚は主に6-9月に出現しており(高須賀ほか, 2016, 2017), 本研究の産卵期と一致した。鹿島灘沿岸域では, 夏季にシラス船曳網で体長数cmの稚魚が混獲されており, 本海域で発生した仔魚が資源加入に寄与している可能性がある。今後, 本海域で採集された仔稚魚の耳石解析を行うことでふ化日組成や成長を明らかにし, マアジ太平洋系群における本海域の産卵場・仔稚魚成育場としての役割を検討していく必要がある。

東シナ海では, 大型個体で成熟個体が現れる期間が長く, またGSIも高いことが報告されている(依田ほか, 2004)。本研究では8月の雌を除いてFLとGSIの間に有意な正の関係が認められ(Fig. 4), 特に2歳と3歳の境界にあたるFL22 cm付近(Fig. 7)を境に成熟個体の割合が急増した(Fig. 4b)。FL22 cm以上の個体では, 6-7月には成熟個体の割合が6割以上を占めたが, 8月には大きく低下して0%となった。一方, FL22 cm未満の個体では, 6-7月には成熟割合が7.4%以下であったが, 8月の成熟割合は43.5%と高かった。また, 年齢とGSIの関係もほぼ同様であり, 3歳以上では6-7月に6割以上が成熟していたが, 8月には20.0%まで低下した(Fig. 5b)。一方, 2歳では, 6-7月にはほと

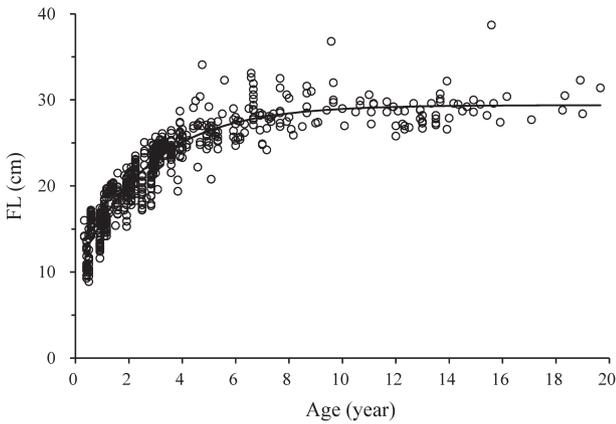


Figure 7. Relationship between age and fork length (FL). von Bertalanffy growth curve was estimated as: $L_t = 29.4 (1 - e^{-0.38(t+1.08)})$ ($n=678, r=0.94$).

Table 2. Age-length key of jack mackerel during January to June and July to December off the Pacific coast of southern Joban-Boso area. Age was added for July which was assumed as the middle of spawning season.

Jan. to Jun.		Age (year)																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FL (cm)	7																					
	8	1																				
	9	2																				
	10	3																				
	11	7																				
	12	5																				
	13	8																				
	14	11																				
	15	14	3																			
	16	19	3																			
	17	4	8	5																		
	18	16	4																			
	19	23	6	1																		
	20	16	7	1																		
	21	3	10	1																		
	22	1	12	1	1																	
	23		15	18																		
	24		11	14	2																	
	25		2	5	5	1																
	26		6	2	1	1	1	1						1	1							
	27		2	4	1	4	2						1	3		1						
	28			1	1	4	2	1			1	1	2	1	2	1						
	29			1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1						
	30			1	3	1	1	1					2	1								
	31				2	1	2															1
	32				1	1	1		1													1
	33					1																
	34			1																		
	35																					
	36									1												
	37																					
	38																	1				
	39																					
	40																					

Jul. to Dec.		Age (year)																				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
FL (cm)	7																					
	8																					
	9	3																				
	10	6																				
	11	1																				
	12	8																				
	13	2																				
	14	2	11																			
	15	2	12																			
	16	8	12																			
	17	2	9	1																		
	18	6	5																			
	19	19	8	1																		
	20	5	15																			
	21	2	13																			
	22		17	3																		
	23		13	7																		
	24		3	26	3	2	2	1														
	25		1	10	3	5	3		1					1								
	26			2	4	6	1	1	1							3						
	27			1	4	3	2	1	1	1	1	2	4	1								1
	28				1	1	4		1		1	3		1			1					2
	29				2	1	1	4			1	1	2	1	2	1						
	30										1		1	2							1	1
	31																					
	32																					
	33																					
	34																					
	35																					
	36																					
	37																					
	38																					
	39																					
	40																					

Table 3. Comparison of estimated fork length (FL) at age in different areas.

Sampling area	Estimated FL (cm) at age (years)						Growth equation fitted to von Bertalanffy growth curve	Reference
	1	2	3	4	5	6		
Southern Joban-Boso	16.0	20.2	23.1	25.1	26.4	27.4	$Lt=29.4 (1-e^{-0.38(t+1.08)})$	Present study
Niigata	14.8	20.6	24.9	28.2	—	—	—	Nishida and Hasegawa (1994)
Kumano-nada	18.3	23.8	—	—	—	—	—	Yamakawa and Takeda (2001)
Kii Channel	18.7	25.2	29.6	32.5	34.4	35.6	$Lt=38.1 (1-e^{-0.41(t+0.64)})$	Sakamoto et al. (1986)
Bungo Channel	16-18	23-24	28-29	—	—	—	—	Yakushiji (2001)
East China Sea (ECS)	17.9	23.3	27.2	30.3	32.6	34.5	$Lt=40.1 (1-e^{-0.275(t+1.149)})$	Yoda et al. (2014)
Northern Kyushu	16.6	23.1	27.7	30.8	33.2	—	$Lt=38.6 (1-e^{-0.350(t+0.68)})$	Nakashima (1982)
Central ECS	17.0	23.3	27.9	31.2	33.7	35.5	$Lt=40.4 (1-e^{-0.312(t+0.75)})$	Nakashima (1982)
Southern ECS	15.4	19.3	22.3	24.6	—	—	$Lt=32.5 (1-e^{-0.259(t+1.47)})$	Nakashima (1982)

んどが未成熟個体であったが、8月の成熟割合は60.0%と高かった。これらの結果から、常磐南部～房総海域では、3歳以上の個体が主産卵群で雌雄ともにほぼ同時に成熟が進行しており、それに遅れて雌の2歳魚が産卵に加入していると推察された。マサバ *Scomber japonicus* では、資源低水準期には大型親魚が先に産卵し、小型親魚が遅れて産卵することが報告されており（渡邊，2010）、本海域におけるマアジも魚体の大きさによって産卵期が異なる可能性が示唆された。

年齢とGSIの間には、6月、8月の雄を除いて有意な関係は認められなかった。その要因として、雌雄ともに7歳以上のGSIが3-6歳と比較して低い傾向にあったことが考えられる（Fig. 5）。常磐南部～房総海域では、7歳以上の高齢魚は十分に成熟できないか、または他海域で産卵後に本海域へ加入するなど産卵生態に違いがある可能性がある。東北太平洋において漁獲の盛期は茨城県から青森県に向かって遅くなることから（川崎，1959）、マアジは常磐南部海域を含む東北海域を回遊していると推測される。よって、本研究で対象とした海域に限られた分析では、その生態を解明するには不十分であると考えられるため、今後は隣接する周辺海域におけるGSIの季節変動を含めた解析や、卵巣の組織学的な分析を進める必要がある。

マアジの成熟開始年齢については、1歳であるとする報告（落合ほか，1983; 阪地，2001）と、2歳からとする報告（堀田・中嶋，1971; 木幡，1972）がある。本研究では1歳魚はすべて未成熟個体であり、最小成熟個体は8月に採集されたFL18.2 cm、GSI8.0の2歳魚であったことから（Fig. 4b）、常磐南部～房総海域における成熟開始年齢は2歳と推定された。マアジの成熟は年齢よりも体サイズに依存するとの報告もあるが（西田，2006）、本研究においては産卵期間中に最大でFL18.5 cmの1歳魚が漁獲されたものの、1歳魚は全て未成熟であったことから、成熟における体長と年齢の関係は海域によって異なる可能性が示唆される。

輪紋形成期

本研究では得られた標本の年齢幅が広く、月別採集において同じ年齢の個体を確保することができなかつたため、年輪数が1, 2-4, 5以上の3群に分けて分析を行った。その結果、年輪数が1の個体は5-9月、2-4の個体は6-9月、5以上の個体は6-9月にMIの低い個体が出現したことから（Fig. 6）、常磐南部～房総海域における輪紋形成期は5-9月と推定された。マアジの耳石の年輪は産卵期に形成されることが東シナ海（Yoda et al., 2014）、新潟県（西田・長谷川，1994）、鳥根県（今岡，1967）、和歌山県（阪本ほか，1986）で報告されている。本研究のGSIの結果から、常磐南部～房総海域における産卵期は6-8月であると推定されたため（Fig. 3）、本海域においても耳石の輪紋形成期は産卵期とほぼ一致した。本研究では1歳魚はすべて未成熟であったが、耳石年輪においては、一般に成長が速い条件下では不透明帯が形成され、成長が遅い条件下では透明帯が形成されることから（麦谷，1997）、水温が高い5-9月に不透明帯が形成されたと推察される。また、若齢個体ほど輪紋の形成が早い傾向にあったが（Fig. 6）、本研究では一部異なる年齢の個体を同じ群として扱っているため、輪紋形成期についてより詳細な検討を行うためには同じ年齢でMIを比較する必要がある。

年齢と成長

マアジの鱗や耳石の表面法による年齢査定では、高齢になると輪紋が近接し不明瞭になることが指摘されている（三谷・井田，1964; 西田・長谷川，1994）。本研究では、耳石の横断薄層切片を作成することにより高齢でも十分に読輪が可能であった（Fig. 2b）。耳石横断切片を用いた年齢査定では、東シナ海では6歳（Yoda et al., 2014）、新潟県では5歳（西田・長谷川，1994）まで確認されている。一方、相模湾では22歳という高齢魚の報告がある（高村ほか，2016）。本研究では最高で19歳魚が出現したことから（Fig. 7, Table 2）、海域によって年齢組成は大きく異なる推察される。

本研究で求めた von Bertalanffy の成長式による年齢別尾叉長を他の海域と比較すると、常磐南部～房総海域で漁獲されるマアジの成長速度は3歳ごろまでは新潟県（西田・長谷川, 1994）や東シナ海南部（中嶋, 1982）と比較的に近いが、熊野灘（山川・武田, 2001）、紀伊水道（阪本ほか, 1986）、豊後水道（薬師寺, 2001）、東シナ海（Yoda et al., 2014）、九州北部および東シナ海中部（中嶋, 1982）と比べるとかなり遅かった（Table 3）。本研究の L_{max} は他の海域と比較して 29.4 cm と極端に小さいが（Table 3）、これは FL30 cm 以上の標本数が十分でないことが影響している可能性もある（Fig. 7）。常磐南部～房総海域では FL30 cm 以上の漁獲は多くないが（堀, 1994）、より精度の高い推定を行うには FL30 cm 以上の大型個体について追加のデータを収集する必要がある。

標本を入手する際の聞き取りによると、本研究で用いた標本はまき網、底曳網ともに水深 70–100 m 程度の漁場で漁獲されたものが主体であった。常磐南部～房総海域の 100 m 深水温は黒潮からの暖水波及がある場合を除いて 1 年のほとんどが 15°C 以下である（三陸・常磐・房総 5 県共同 100 m 深水温図：<http://www.pref.ibaraki.jp/nourinsuisan/suishi/gyogyo/data/kasosuionzu/kasusuionzu.html>, 2017 年 7 月 12 日）。また、調査船調査でマアジが採集された地点の底水温は 9.8–16.2°C であった。マアジは比較的暖水性の魚であり、その適生息水温は 16°C 以上とされ（森脇・寺門, 2012）、さらに飼育実験では 0 歳魚の成長が水温 18°C 以下で停滞したことが報告されていることから（落合ほか, 1983）、本海域の水温は適生息水温よりもかなり低いと推測される。ヒラメ *Paralichthys olivaceus* では北方ほど成長が遅い傾向にあることが報告されており（北川ほか, 1994）、マダラ *Gadus macrocephalus* でも生息南限に近い海域に比べて北限に近い海域で低成長・高寿命となることが報告されている（服部ほか, 1992）。マアジにおいても、本海域における低水温環境が低成長・高寿命につながっている可能性がある。

謝 辞

本研究を行うにあたり、標本の収集にご協力いただいた北まき船、平潟漁協、那珂湊漁協所属の底曳網船の漁業者および漁協職員の皆様、茨城県水産試験場調査船いばらき丸の鈴木由美船長をはじめとする船員の皆様に感謝申し上げます。耳石解析について多くの有益な助言をいただいた茨城県庁水産振興課の益子剛氏、大分県農林水産研究指導センターの中尾拓貴氏、サンプルの測定および耳石採取にご協力いただいた茨城県水産試験場臨時職員の根本紀子氏に御礼申し上げます。本研究は水産庁委託事業我が国周辺漁業資源調査事業により行った。

引用文献

- 服部 努・桜井泰憲・島崎健二（1992）マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式。日水誌, **58**, 1203–1210。
- 堀 義彦（1994）常磐～犬吠埼周辺海域のアジ類について。茨城水試研報, **32**, 17–37。
- 堀田秀之・中嶋純子（1971）西日本海域におけるマアジの群構造に関する研究 V 成熟状況からの解析。西水研報告, **39**, 33–50。
- 今岡要二郎（1967）アジの生態学的研究 マアジの耳石に現れる輪紋の形成期について。鳥根水試研報, **2**, 1–9。
- 井関智明・町田雅春・竹内宏行・八木佑太・上原伸二（2017）耳石横断面法と表面法を用いた若狭湾西部海域におけるアカアマダイの年齢と成長。日水誌, **83**, 174–182。
- 川崎 健（1959）マアジの生態についての基礎的研究。東北水研報告, **13**, 95–107。
- 木幡 孜（1972）相模湾重要魚種の生態-II マアジ *Trachurus japonicus* (TEMMINCK et SCHLEGEL) について。神奈川水試相模湾支所報告（昭和 46 年度事業報告）, 55–72。
- 北川大二・石戸芳男・桜井泰憲・福永辰廣（1994）三陸北部沿岸におけるヒラメの年齢、成長、成熟。東北水研報告, **56**, 69–76。
- 古藤 力（1990）太平洋岸におけるマアジ資源の動向について。水産海洋研究会報, **54**, 47–49。
- 三谷文夫・井田悦子（1964）マアジの成長と年齢。日水誌, **30**, 968–977。
- 森脇 晋平・寺門弘悦（2012）鳥根県沿岸域のマアジ漁況—春～初夏の漁獲量変動におよぼす水温変動の評価—。鳥根水試研報, **4**, 33–37。
- 麦谷泰雄（1997）I. 年齢形質 1. 魚類年齢形質の形成と輪紋性状。「水産動物の成長解析」赤嶺達郎, 麦谷泰雄編, 恒星社厚生閣, 東京, 9–16。
- 中嶋純子（1982）西日本海域におけるマアジの成長と年齢について。西水研報告, **57**, 47–57。
- 西田 宏（2006）マアジとマイワシの繁殖生態。水産総合研究センター研究報告, 別冊**4**, 113–118。
- 西田 宏・長谷川誠三（1994）新潟沿岸におけるマアジ産卵群の年齢と成長。日水研報告, **44**, 73–80。
- 落合 明・睦谷一馬・榎田 晋（1983）養殖 1 歳マアジの成長、成熟および人工産卵について。日水誌, **49**, 541–545。
- 阪地英男（2001）高知県宿毛湾におけるマアジ（「きあじ」タイプ）の産卵期と成熟年齢。黒潮の資源海洋研究, **2**, 39–44。
- 阪本俊雄・武田保幸・竹内淳一（1986）沿岸重要資源の管理に関する研究（概報）。昭和 59 年度和歌山水試事業報告, 43–52。
- Sassa C., Y. Konishi and K. Mori（2006）Distribution of jack mackerel (*Trachurus japonicus*) larvae and juveniles in the East China Sea, with special reference to the larval transport by the Kuroshio Current. Fish. Oceanogr., **15**, 508–518。
- Sassa C., M. Takahashi, Y. Konishi and Y. Tsukamoto（2016）Interannual variations in distribution and abundance of Japanese jack mackerel *Trachurus japonicus* larvae in the East China Sea. ICES J. Mar. Sci., **73**, 1170–1185。
- 澤田貴義（1974）伊豆近海におけるマアジの成長と成熟について。静岡水試研報, **7**, 25–31。
- 高村正造・渡邊千夏子・西村 明・武邑沙友里（2016）相模湾で漁獲されたマアジの体長組成と年齢。2016 年度水産海洋学会研究発表大会講演要旨集, 86。
- 高須賀明典・梨田一也・宇田川美穂・亘 真吾・入路光雄（2016）2015 年～2016 年春季の我が国太平洋岸におけるマアジ卵・仔魚の分布状況。平成 28 年度中央ブロック卵・稚仔、プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, 162–174。
- 高須賀明典・梨田一也・宇田川美穂・亘 真吾・入路光雄（2017）2016 年～2017 年春季の我が国太平洋岸におけるマアジ卵・仔魚の分布状況。平成 29 年度中央ブロック卵・稚仔、プランク

- トン調査研究担当者協議会研究報告, 177-189.
- 渡邊千夏子 (2010) マサバ太平洋系群の繁殖特性の変化とその個体群動態への影響. 水産海洋研究, **74**, 46-50.
- 亘 真吾・渡邊千夏子・由上龍嗣・上村泰洋・古市 生 (2018) 平成29 (2017) 年度マアジ太平洋系群の資源評価. 平成29年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第1分冊, 93-124.
- 薬師寺房憲 (2001) 豊後水道におけるマアジ *Trachurus japonicus* (TEMMINCK et SCHLEGEL) の成熟と相対成長. 黒潮の資源海洋研究, **2**, 17-21.
- 山川 卓・武田保幸 (2001) 熊野灘におけるマアジの成長と漁獲特性. 黒潮の資源海洋研究, **2**, 27-34.
- 依田真里・黒田啓行・佐々千由紀・高橋素光 (2018) 平成29 (2017) 年度マアジ対馬暖流系群の資源評価. 平成29年度我が国周辺水域の漁業資源評価第1分冊, 125-156.
- 依田真里・大下誠二・檜山義明 (2004) 漁獲統計と生物測定によるマアジ産卵場の推定. 水産海洋研究, **68**, 20-26.
- Yoda M., T. Shiraiishi, R. Yukami and S. Ohshimo (2014) Age and maturation of jack mackerel *Trachurus japonicus* in the East China Sea. Fish. Sci., **80**, 61-68.