

九州北西岸におけるカタクチイワシの生物特性に関する研究

Biological characteristics of Japanese anchovy in the waters off northern and western Kyushu in Japan

大下誠二 (西海区水産研究所)

はじめに

カタクチイワシ(*Engraulis japonicus*)は広く日本周辺に分布する。太平洋側では、黒潮続流域に広範囲に分布し、北には北海道道東沖から、南には台湾周辺まで漁獲されることが報告されている。東シナ海、日本海においても広く分布し、東シナ海では渤海・黄海に多くの資源量が存在すること(Iseki and Kiyomoto, 1997; Iversen et al., 1993; Ohshimo, 1996)、日本海北部のピョートル大帝湾に 1990 年代後半に産卵親魚が分布したこと(Davidova and Schevchenko, 2002)などが分かっている(図 1)。一方、回遊様式については不明な点が多く、黄海および東シナ海の大陸棚縁辺部を時計回りに回遊している群れの存在(Iversen et al., 1993)や、朝鮮半島の東岸および西岸を季節回遊している群れの存在が報告されている(Chang et al., 1980)ものの、日本沿岸域においてそれらの群れと、周年に渡り日本沿岸域で漁獲される群れの違いは不明瞭である。たとえば、中原(1974)は山口県の日本海側に来遊するカタクチイワシのなかに「シロタレ」「クロタレ」と呼ばれる地域個体群らしき群れを見いだしている。青木ほか(2005)は、形態形質の差異から日本周辺のカタクチイワシを大まかに 4 つのグループに分類しているが、近藤(1971)の提唱した 4 つの系群とは異なる。ただし、ミトコンドリア DNA を用いた分析では、日本周辺(船本ほか 1999)でも黄海・東シナ海(Yu et al., 2005)でも明確な系群の差異は認められていない。

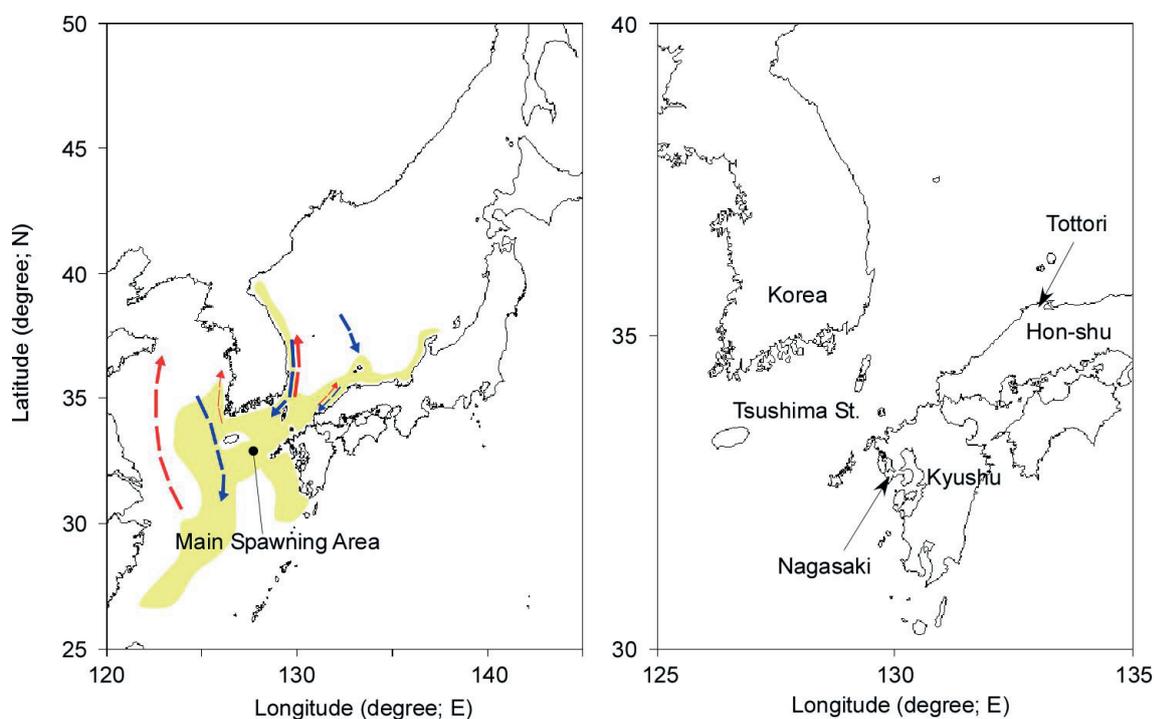


図 1 左:カタクチイワシの主な産卵場(黄色塗りつぶし部分)と回遊経路(Chang et al. 1980;Iversen et al. 1993 から参照)、右:本研究の調査海域周辺地図。

さて、本研究で用いた九州北西岸のカタクチイワシであるが、この海域で周年にわたり漁獲され、1997年以降の計量魚群探知機による調査では漁獲対象となる魚類のなかで最も現存量が多い(Ohshimo, 2004)。成魚よりも稚魚のほうが単位重量あたりの価格が高いため、若齢魚から漁獲圧がかかっていると考えられている。九州北西岸では1月におそらく北方の海域から南下してくる群れ(関東ダレと呼ばれる)が認められ、被鱗体長は13cm以上の個体で構成されることが多い。同時期に沿岸域には被鱗体長10cm程度の個体も存在しており、これらの群れの違いがどうなっているのかは不明な点が多い。前述した、黄海・東シナ海の群れ(Iversen et al., 1993)や、朝鮮半島東岸・西岸を南北回遊する群れ(Chang et al., 1980)との関わりも不明な点が多い。カタクチイワシは周年に渡り産卵することが言われており、春季および秋季の二つの大きな発生群に分類できるとされる。ただし、組織学的に詳細な観察を行った例は多くない。また、それら二つの発生群に関する成長様式についての知見も乏しい。そのため本研究では、九州北西岸に分布するカタクチイワシを用いて、成長様式や成熟特性の知見を求めることを目的とした。

材料と方法

成長様式

魚類の成長様式を求めるためには、一般に年齢形質と呼ばれる鱗や耳石などを用いて、年輪などを査読することが必要である。カタクチイワシについても、耳石や鱗を定法に従い年輪を解読しようと試みたが、輪の形成は不明瞭であるので、この方法による成長様式の推定は困難であると判断した。

そこで、本研究では月別に測定されている体長の頻度分布を用いて、成長様式を推定することとした。相澤・滝口(1999)や五利江(2001)は、マイクロソフト社エクセルを用いて年齢別の平均体長を求める方法について記述している。その方法は、体長のいくつかのモードから形成される体長の頻度分布を、それぞれのモードに年齢を仮定した正規分布を当てはめて平均体長を求めるものである。

用いたデータは漁業情報サービスセンターに登録されている1977年以降の鹿児島県の東シナ海側から青森県までの日本海側の月別体長組成を用いた。ただし、鳥取県以北のデータは少ないため、本研究の調査海域との差はほとんどないと判断した。用いた個体数は、349,812個体である。相澤・滝口(1999)の方法では、予め最大年齢を仮定して入力する必要があるため、本研究ではカタクチイワシの寿命を2歳までと仮定して計算を行った。春季および秋季発生群による個体群の平均体長は、それぞれの発生群毎に年齢別の平均体長を計算し、ベルタランフィアの成長式

$$BL_t = BL_{\infty} \{1 - \exp(-K(t - t_0))\} \quad (\text{式 1})$$

に、最小二乗法を用いてパラメーター(BL_{∞} 、 K 、 t_0)を推定した。ただし、 BL_t 、 BL_{∞} 、 K 、 t_0 はそれぞれ、 t 歳時の被鱗体長、極限体長、成長係数および体長が0になる年齢である。

成熟特性

九州北西岸で採集したカタクチイワシの被鱗体長・体重(BW : g)を測定した後、性別を確認しながら生殖腺重量(GW : g)を測定した。生殖腺重量指数(GSI)は次の式で求めた。

$$GSI = \frac{GW \times 100}{BW} \quad (\text{式 2})$$

一部の個体については、10%ホルマリンにて固定し、定法にしたがい脱水後にパラフィンに包埋し、マイクロトームを用いて約8 μ mの薄切切片を作成した。Mayerのヘマトキシリン・エオシン染色を施した切片を光学顕微鏡下で検鏡した。精巣(雄)については、高橋(1989)に従い、精巣内で最も発達した精母細胞を、精原細胞増殖期(spermatogonial proliferation stage: SP)、成熟初期(early maturation stage: EM)、成熟中期(mid maturation stage: MM)、成熟後期(late maturation stage: LM)、機能的成熟期(functional maturation stage: FM)、後繁殖期(post-spawn stage)に分けた。卵巣(雌)について、高野(1989)に従い、卵巣内で最も発達した卵母細胞を、周辺仁期(perinucleolus stage: PN)、卵黄胞期(yolk vesicle stage: YV)、第一次卵黄球期(primary yolk stage: PY)、第二次卵黄球期(secondary yolk stage: SY)、第三次卵黄球期(tertiary yolk stage: TY)、核移動期(migratory nucleus stage: MN)、成熟期(maturation stage: MT)に分けた。雄については成熟後期と機能的成熟期にある個体を成熟している個体と見なし、雌については核移動期と成熟期にある個体、もしくは排卵後濾胞(Postovulatory follicles :POFs)が見られた個体を成熟している個体と見なした。

結果

成長様式

月別の体長頻度分布から、被鱗体長12cmまでは春季および秋季発生群を分けるのは容易であった。しかしながら、12cm以上になれば、どちらの発生群からの由来の個体かを分けるのは困難となり始め、14cm以上では発生群の識別は無理と判断した。したがって、14cm以上になると成長が滞ると判断し、春季および秋季発生群とも同じ体長組成で代表させた。

春季および秋季発生群のふ化後月齢毎の平均体長をベルタランフ

イの成長式に当てはめた結果、次のような式を得た(図2A)。

$$\text{春季発生群: } BL_t = 143.96\{1 - \exp(-0.15(t + 0.44))\} \quad (\text{式 3})$$

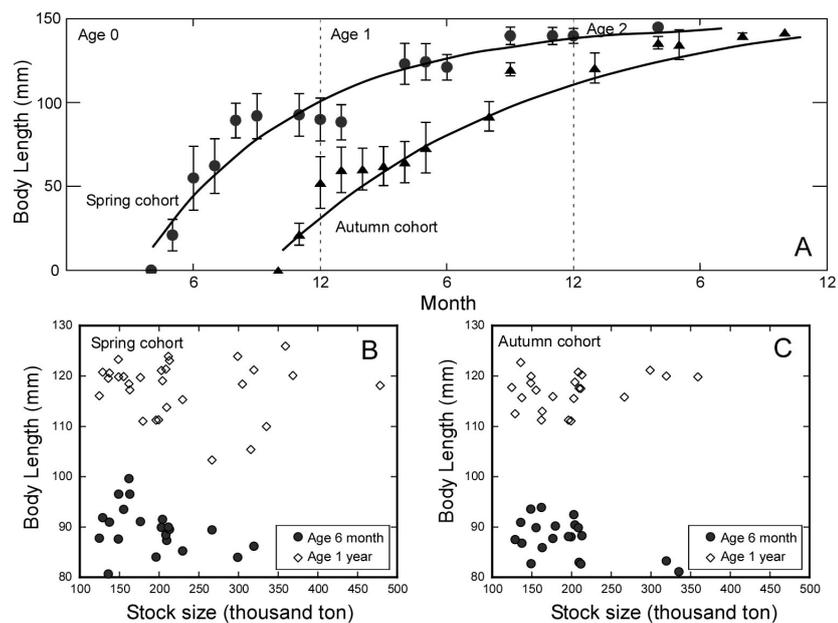


図2 カタクチイワシの成長様式

A: 春季発生群および秋季発生群の成長様式、●、▲および縦棒はそれぞれ春季発生群の月別平均値、秋季発生群の月別平均値及び標準偏差。

B: 資源量と春季発生群の6ヶ月齢および1年齢の体長との関係。C: 資源量と秋季発生群の6ヶ月齢および1年齢の体長との関係。

$$\text{秋季発生群} : BL_t = 158.59 \{1 - \exp(-0.09(t + 0.74))\} \quad (\text{式 4})$$

ただし、 BL_t はふ化後 t 月後の被鱗体長 (BL : mm) である。マイワシ (*Sardinops melanostictus*) では、資源水準と被鱗体長とに負の相関が認められている (Hiyama et al., 1995; Ohshimo et al., 2009) ので、大下・田中 (2009) が推定した対馬暖流域のカタクチイワシの資源量と、春季および秋季発生群のふ化後 6 ヶ月後および 1 年後の平均体長との関係を求めた (図 2B と C) と、マイワシのような負の相関は認められなかった。

成熟特性

図 3A と B に雌雄別の GSI の月別変化を示した。雌雄とも 3 月くらいから GSI が増加し始め、8 月に一端大きく下がるものの 11 月くらいまで GSI の平均値が 2 を超えていた。最も GSI が高いのは雌雄とも 4 月であった。図 3C と D には、雌雄別の体長と成熟段階の関係を示した。本研究では成熟している指標を、雄では LM と FM、雌では MN と MT および POFs (図 3D の ×) を有している個体とし、雄では体長 100mm 以上で、雌では 90mm 以上で現れた。図 3E と F に雌雄別に GSI と成熟段階

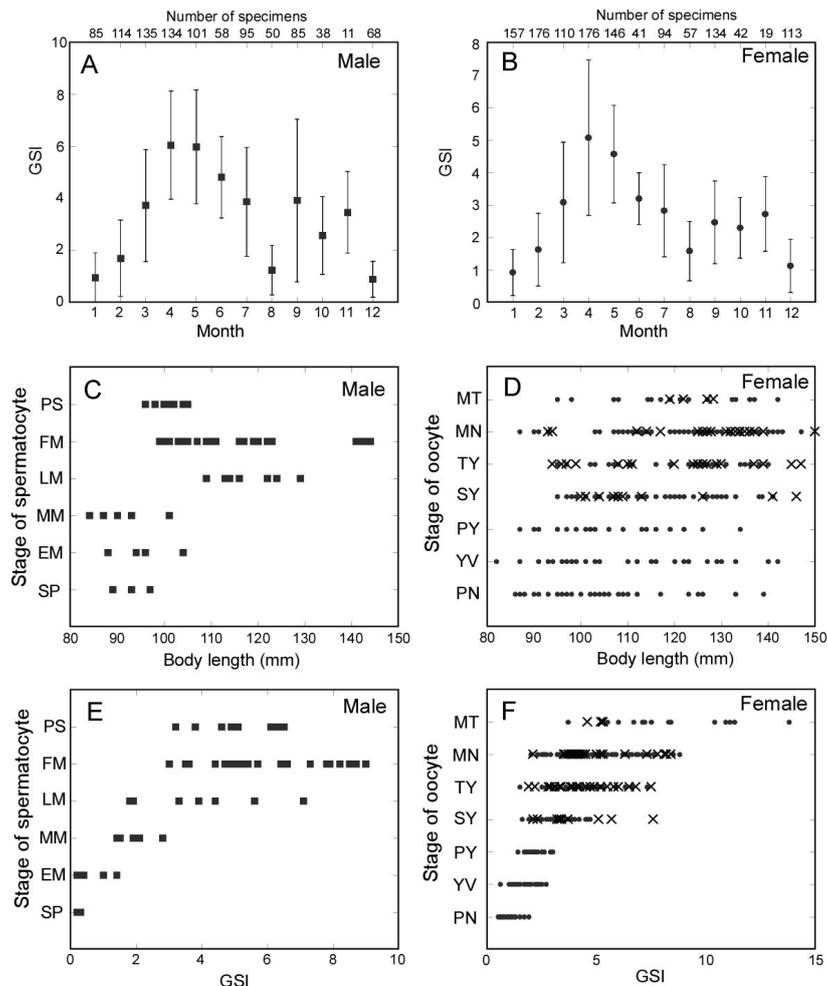


図 3 カタクチイワシの成熟特性

A・B : 雄および雌の月別 GSI の変化、図中の凡例は平均値、縦棒は標準偏差。C・D : 雄および雌の体長と生殖腺の発達ステージとの関係。E・F : 雄および雌の GSI と生殖腺の発達ステージとの関係。精母細胞を、精原細胞増殖期 (SP)、成熟初期 (EM)、成熟中期 (MM)、成熟後期 (LM)、機能的成熟期 (FM)、後繁殖期 (PS) に分けた。卵巣 (雌) について、高野 (1989) に従い、卵巣内で最も発達した卵母細胞を、周辺仁期 (PN)、卵黄体期 (YV)、第一次卵黄体期 (PY)、第二次卵黄体期 (SY)、第三次卵黄体期 (TY)、核移動期 (MN)、成熟期 (MT) に分けた。図中の × は排卵後濾胞 (POFs) を有した個体を意味する。

では体長 100mm 以上で、雌では 90mm 以上で現れた。図 3E と F に雌雄別に GSI と成熟段階

との関係を示した。雄では GSI が 2 程度で LM を持つ個体が現れ、雌では GSI が 3 程度で MN を持つ個体が現れた。これらの体長もしくは GSI の値と成熟段階との関係をもちいて、それぞれ半数成熟をみたく GSI (GSI_{50}) をロジスティック式を用いて推定した。成熟率 (MR) は、GSI が 0.5 毎の成熟割合(雄では LM と FM の個体の割合、雌では MN、MT および POFs を持つ個体の割合)を集計した。その結果、雌雄別に次のロジスティック式を得た(図 4)。

$$\text{雄: } MR = \frac{1}{1 + \exp(-1.96(GSI - 2.26))} \quad (\text{式 5})$$

$$\text{雌: } MR = \frac{1}{1 + \exp(-0.96(GSI - 3.77))} \quad (\text{式 6})$$

この結果、 GSI_{50} は雄で 2.3、雌で 3.8 と推定された。

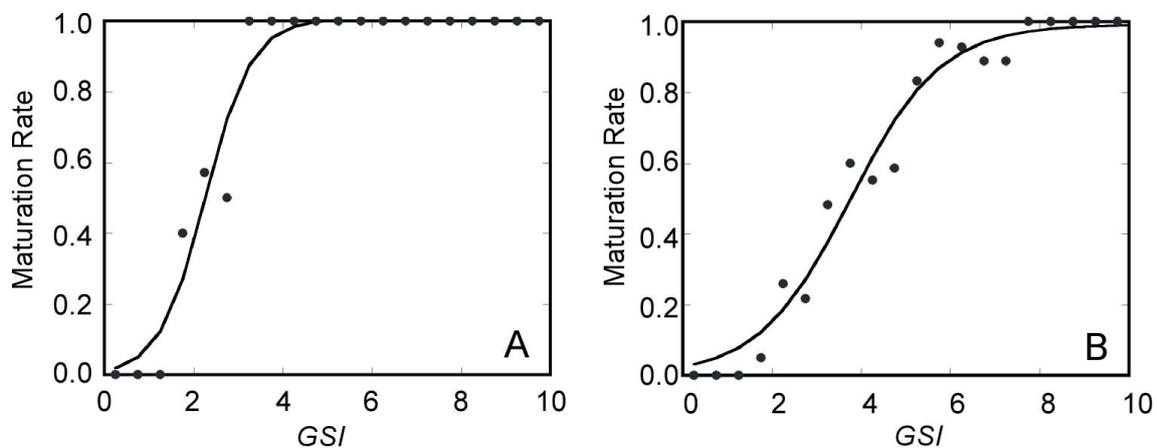


図 4 カタクチイワシの GSI と成熟率の関係 (A: 雄、B: 雌)

考察

成長様式に関する考察

カタクチイワシは漁業資源として多くの国・地域で利用されているため、それぞれの海域において多くの成長様式が示されている。本研究では、すべてのカタクチイワシの成長様式を列挙できてはいないが、関係するいくつかの論文と比較することとしたい。ただし、本研究における成長式については、月別の体長組成はある年齢の体長組成の正規分布であるという仮定を置き、月齢別に平均体長を求めている。本研究を行う前に、鱗や耳石を用いて年齢査定を試みたが、確実な年輪は見いだせなかった。カタクチイワシは一般的に成長が早く、産卵期間が長い。そのため、例えば秋に生まれた個体が冬季の低水温期に成長量が滞り年齢形質に輪が形成される場合と、春に生まれて成長を続け冬季に輪を形成する場合ではその輪の意味は異なるだろう。しかしながら Yukami et al. (2008) は成魚の耳石を用いて日輪数を計測することで成魚であっても成長様式が解明できるとしている。ただし、この方法は多大な労力を要する上に、過去の成長様式に関する知見は得られない。Bellido et al. (2000) は、地中海のカタクチイワシ (*Engraulis encrasicolus*) について体長組成から成長様式を推定しており、本研究で推定した方法は特殊なものではない。このように様々な問題はあがるが、本研究では平均的な九州北西岸におけるカタクチイワシの成長様

式を推定する一つの方法として報告することとした。

東シナ海におけるカタクチイワシの成長様式に関する知見は少ない。一丸ほか(1993)は、耳石の日輪数を計測し、春季発生群と秋季発生群の未成魚における成長様式を観察した。彼らは、成長量について春季発生群のほうが秋季発生群よりも良いことを述べている。本研究で得られた春季発生群および秋季発生群の成長式と比較すると(式 3・

4)、春季発生群ではよく一致するものの、秋季発生群ではやや実際の観測結果のほうが成長式よりも大きい(図 5A・B)。ただし、成長係数(K)が春季発生群のほうが秋季発生群よりも大きいのは正しそうだ。中原(1974)は、山口県の日本海側沖のカタクチイワシについて、春季発生群と秋季発生群の二つの群れが現れ成長様式を図示しているものの成長式にまでは言及していない。

Iversen et al. (1993)は渤海・黄海・東シナ海の広域に分布するカタクチイワシについて成長式を記述しており、その式は、次の通りである。

$$TL_t = 15.5(1 - \exp(-0.6(t+1))) \quad (\text{式 7})$$

ただし、 TL_t はt歳における全長(cm)である。本研究は被鱗体長を測定しているので一概に比較は困難であるが、両者を比較すると(図 5 C)、Iversen et al.(1993)が報告したカタクチイワシの成長は九州北西岸のものよりも成長量が劣り、最大体長は小さいようだ。Iversen et al. (1993)はこの違いを、年齢査定の変異か日本周辺のカタクチイワシ資源への漁獲圧が強いためではないかと考察している。大下・田中(2009)によると日本周辺のカタクチイワシへの漁獲圧はさほど強くなく、さらに黄海・東シナ海沖合域のカタクチイワシの資源量は近年減少しており(Zhao et al., 2003)、資源管理の失敗が疑われる(Dankel et al., 2008)。したがって、もしIversen et al. (1993)の提言する漁獲圧の強さが成長様式に影響を及ぼすのであれば、黄海・東シナ海沖合のカタクチイワシの成長様式は変わっているはずであるので今後確認が必要だろう。また、東シナ海の中国よりの海域におけるカタクチイワシと九州北西岸における同種の年齢査定の変異について検討が必要だろう。

日本海における成長様式は渡辺(1958)に示されているが、成長式は求められていない。それに

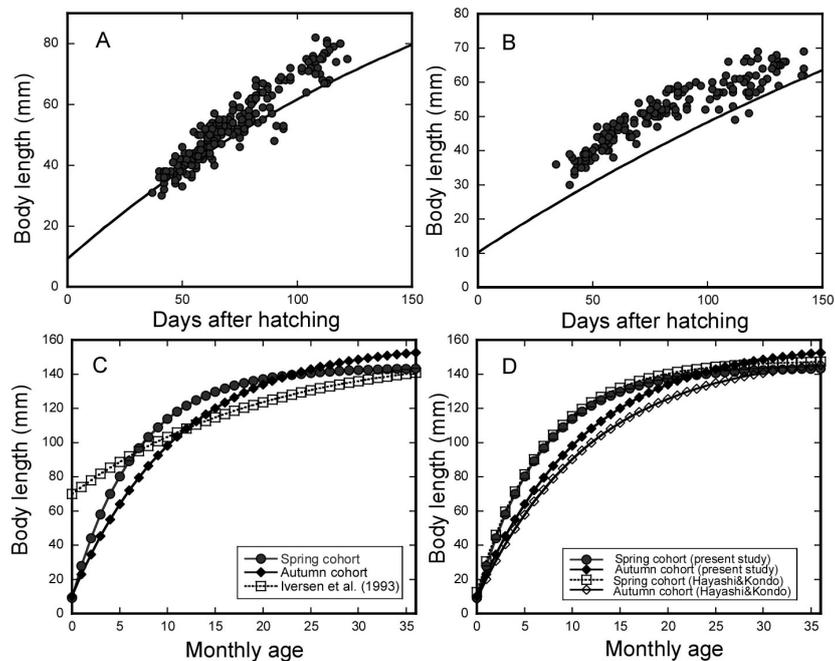


図 5 カタクチイワシの成長様式の既往知見との比較

A: 一丸ほか(1993)が報告した春季発生群の個体(●)と本研究の春季発生群の成長式。B: 一丸ほか(1993)が報告した秋季発生群の個体(●)と本研究の秋季発生群の成長式。C: Iversen et al. (1993)が報告した黄海・東シナ海沖合域の成長式(ただし全長)と本研究の成長式。D: Hayashi and Kondo (1957)が推定した春季・秋季発生群の成長式と本研究の成長式。

よると、春季発生群はふ化後3ヶ月で被鱗体長60mm程度、6ヶ月で90mm程度、1年で120～130mmに達すると書かれている。本研究における成長式から求めた被鱗体長は、3ヶ月で58mm、6ヶ月で89mm、1年で122mmであるので、渡辺らが観察した結果とほぼ等しい。

Hayashi and Kondo (1957)は、太平洋海域において春季発生群と秋季発生群の二つの発生群の成長式を示している。それらの成長式は次の通りである。

$$\text{春季発生群： } BL_t = 148.2(1 - 0.9153(\exp(-0.142t))) \quad (\text{式 8})$$

$$\text{秋季発生群： } BL_t = 152.3(1 - 0.9442(\exp(-0.0842t))) \quad (\text{式 9})$$

ただし、 BL_t は月齢 t における被鱗体長(cm)。春季発生群については、ほぼ同じと見て良い。秋季発生群については、本研究と同様に春季発生群よりも成長量は劣ることを示しており、太平洋側秋季発生群の成長は本研究のものよりもやや遅いようだ(図 5D)。以上、過去の知見との比較を通して、九州北西岸でサンプリングされたカタクチイワシの春季発生群についてはこれまでの報告とほぼ同じ結果であり、本海域における秋季発生群の成長式については本報告がおそらく初の記録と考えられた。

成熟特性に関する考察

月別の GSI 値の変化を見ると、4月に最も高く雄の平均値で6.0、雌では5.1であった(図 3A・B)。一方最も低いのは雄では12月の0.9、雌では1月の0.9であった。4月に最も高い GSI 値を示した後、8月に雌雄とも GSI 値は低下するが(雄で1.2、雌で1.6)、その後再び増加し、11月には雄で3.5、雌で2.7となった。組織染色を施した切片を観察すると、GSI が低くなる12月・1月でさえも卵巣には核移動期(MN)を持つ個体がいるので、ほぼ周年に渡り産卵が行われていると考えられるが、主産卵期は3月～7月の春季と、9月～11月の秋季の二つがあると見て良いだろう。このことは、成長様式が春季発生群と秋季発生群の二つの様式を推定した根拠となっている(結果の成長様式参照)。

対馬暖流域のカタクチイワシの生殖周期に関する論文はさほど多くない。鳥取県沖のカタクチイワシでは3月から産卵が開始し、4～6月に産卵盛期となることが分かっている(志村ほか2008)。本研究では雌雄別の GSI_{50} を求めており、その値は雌雄で異なった。したがって、GSI のみでは本当の意味で産卵期の推定は困難と考える。志村ほか(2008)や Funamoto et al. (2004)はそれぞれ鳥取沖、若狭湾におけるカタクチイワシの成熟生態について組織切片を作成し観察をしているが、本種の産卵期を推定した論文の多くは GSI の月別変化を求めるにとどまっている場合が多い。GSI は大量のサンプルからのデータを素早く処理できる利点があり、組織切片による検鏡は煩雑で時間がかかるという欠点がある。しかしながら、成熟生態の長期間の変化を求めるような場合では一部でもよいから組織切片を作成し検鏡する努力が必要だろう。

太平洋海域および瀬戸内海海域の産卵期をみると、太平洋海域では、産卵は冬季を除くほぼ周年行われ、産卵盛期は4～7月である(久保田ほか2009)。瀬戸内海海域では、ほぼ周年に渡り産卵をし、産卵盛期は5～9月である(河野・銭谷2008)。これら二つの海域に比べると九州北西岸の産卵盛期はやや早く、明確な秋季の産卵期があることが特徴と考えられる。

体長と精母細胞および卵母細胞との関係をみると、本研究で用いたサンプルでは雄の被鱗体長100mm以上でLMおよびFMステージを持つ個体が現れ、雌では90mm以上でMNステージを持つ個体が現れた(図 3C・D)。また一部MNステージとPOFsの両方を持つ個体が観察されたの

で、産卵後数日で再び産卵する個体もあると考えられた。GSI と精母細胞および卵母細胞との関係を見ると、雌雄とも GSI が大きくなるにつれて成熟が発達する様子がうかがえた(図 3E・F)。卵巣の組織について、本研究ではデータを示していないが、一部退行卵を持つ個体も観察された。しかも退行卵は 8 月に多く現れる傾向にあり、水温と卵巣の発達ステージとの関係が今後の課題である。半数成熟となる GSI(GSI₅₀)を雌雄で求めたところ、雄では 2.3、雌では 3.8 であった(図 4)。したがって、雌雄でこれらの値以上であれば排精もしくは産卵する可能性が高いと判断される。過去の精密測定データをもとに、雄で 2.3、雌で 3.8 以上の GSI を持つ個体の最小体長はそれぞれ 87mm と 81mm であった。Funamoto et al. (2004)は若狭湾において約 8.5cm から産卵に参加するとしており、本研究でもその知見とほぼ同じ値となった。ただし、本研究では組織切片の観察から雄で 100mm 以上、雌で 90mm 以上の個体が成熟と判断された。今後はより小さな個体での組織学的検討が必要だろう。

今後の研究展開について

本研究ではカタクチイワシの成長様式と成熟特性に焦点を当てて、その生物特性について記述した。本研究で用いたサンプルは九州の北西岸で得られた個体のみであり、今後は他の海域、例えば東シナ海沖合域、日本海沖合域および日本海北部沿岸域などの個体との比較検討が必要だろう。形態的な差が認められる日本海の北部と九州沿岸域(青木ら, 2005)では生物特性が異なる可能性があるし、食性の差を示す炭素・窒素安定同位体比が沿岸域と沖合域で大きな差が出るカタクチイワシ(Tanaka et al. 2008)では、東シナ海や日本海の沖合で過ごすカタクチイワシとの生物特性が大きく異なる可能性も残されている。これらの比較を行ったのち、カタクチイワシの資源評価のモデルの再構築を行い、資源管理をするための枠組みについて検討してみたい。

また、本海域ではマイワシやウルメイワシのように、カタクチイワシの生態に近く漁獲量も多い魚種が分布している。これらの魚種の資源動態が、カタクチイワシの資源動態にどのように関係しているのかを検討する必要があるだろう。

謝辞

本研究は、水産庁委託事業「我国周辺漁業資源等調査」および「資源動向要因分析調査」の予算を用いて行った。また、漁業情報サービスセンターの渡邊一功氏には過去に記録されたカタクチイワシの精密測定および体長組成のデータを整理していただいた。研究を遂行する上で、欠かせないデータの記録・保存やサンプルの処理に関わっていただいた多くの方に感謝申し上げる。

引用文献

- 相澤康・滝口直之(1997)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, 63, 205-214.
- 青木一郎・根本洋樹・安保充(2005)日本周辺海域におけるカタクチイワシの資源構造。月刊海洋号外, 40, 161-165.
- Bellido, J.M., Pierce, G.J., Romero, J.L., Millan, M. (2000) Use of frequency analysis methods to estimate growth of anchovy (*Engraulis encrasicolus* L. 1758) in the Gulf of Cadiz (SW Spain). Fish. Res., 48, 107-115.

- Chang, S.D., Hong, S.Y., Park, C.K., Chin, P., Lee, B.G., Lee, T.Y., Kang, Y.J. and Gong, Y. (1980) Studies on the migration of anchovy *Engraulis japonica* in Korean waters. Publ. Inst. Mar. Sci. Natl. Fish. Univ. Busan, 12, 1-38.
- Dankel, D.J., Skagen, D.W. and Ulltang, O. (2008) Fisheries management in practice: review of 13 commercially important fish stocks. Rev. Fish Biol. Fisheries, 18, 201-233.
- Davidova, S.V. and Shevchenko, A.V. (2002) Spawning of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* (Engraulidae) in Peter the Great Bay (the Sea of Japan) in 1996-1998. J. Ichthyol., 42, 170-179.
- 船本鉄一郎・菊池潔・青木一郎・渡部終五・谷内透(1999)黒潮続流と移行域におけるカタクチイワシの再生産機構に関する研究. 科研費補助金研究成果報告書, pp15-30.
- Funamoto, T., Aoki, I. and Wada, Y. (2004) Reproductive characteristics of Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, in two bays of Japan. Fish. Res., 70, 71-81.
- 五利江重昭(2001)MS-Excel を用いた成長式のパラメータ推定. 水産増殖, 49, 519-527.
- Hayashi, S. and Kondo, K. (1957) Growth of the Japanese anchovy – IV. Age determination with the use of scales. Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab., 17, 31-65.
- Hiyama, Y., Nishida, H. and Goto, T. (1995) Interannual fluctuations in recruitment and growth of the sardine, *Sardinops melanostictus*, in the Sea of Japan and adjacent waters. Res. Popul. Ecol., 37, 177-183.
- 一丸俊雄・永谷浩・大下誠二 (1993)長崎県沿岸域におけるカタクチイワシの耳石の日輪解析. 平成 5 年日本水産学会秋季大会講演要旨集, 108.
- Iseki, K. and Kiyomoto, Y. (1997) Distribution and settling of Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*) eggs at the spawning ground off Changjiang River in the East China Sea. Fish. Oceanogr., 6, 205-210.
- Iversen, S.A., Zhu, D., Johannessen, A. and Toresen, R. (1993) Stock size, distribution and biology of anchovy in the Yellow Sea and East China Sea. Fish. Res., 16, 147-163.
- 近藤恵一(1971)カタクチイワシの生態と資源. 日本水産資源保護協会, 水産研究叢書 20, 57 pp.
- 河野悌昌・銭谷弘(2008)1980～2005 年の瀬戸内海におけるカタクチイワシの産卵量分布. 日本水産学会誌, 74, 636-644.
- 久保田洋・坂地英男・高須賀明典・川端淳・赤嶺達朗・清水昭男(2009)平成 20 年度カタクチイワシ太平洋系群の資源評価. 平成 20 年度我国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁増殖推進部, 686-712.
- 中原民男(1974)日本海の山口県産カタクチイワシの生物学的諸特性と漁況変動. 山口外海水試研究報告, 14, 41-61.
- Ohshimo, S. (1996) Acoustic estimation of biomass and school character of anchovy *Engraulis japonicus* in the East China Sea and the Yellow Sea. Fish. Sci., 62, 344-349.
- Ohshimo, S. (2004) Spatial distribution and biomass of pelagic fish in the East China Sea in summer, based on acoustic survey from 1997 to 2001. Fish. Sci., 70, 390-401.
- 大下誠二・田中寛繁(2009)平成 20 年度カタクチイワシ対馬暖流系群の資源評価. 平成 20 年度我国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁増殖推進部, 751-768.

- Ohshimo, S., Tanaka, H. and Hiyama, Y. (2009) Long-term stock assessment and growth changes of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*) in the Sea of Japan and East China Sea from 1953 to 2006. *Fish. Oceanogr.*, 18, 346-358.
- 志村健・山本潤・森本晴之・大下誠二・下山俊一・桜井泰憲(2008)春季の日本海鳥取沖におけるカタクチイワシの成熟と産卵. *水産海洋研究*, 72, 101-106.
- 高橋裕哉(1989)精巣の構造と配偶子形成. *水族繁殖学*(隆島史夫・羽生功編), 緑書房, 35-64.
- 高橋和則(1989)卵巣の構造と配偶子形成. *水族繁殖学*(隆島史夫・羽生功編), 緑書房, 3-34.
- Tanaka, H., Takasuka, A., Aoki, I. and Ohshimo, S. (2008) Geographical variations in the trophic ecology of Japanese anchovy, *Engraulis japonicus*, inferred from carbon and nitrogen stable isotope ratios. *Mar. Biol.*, 154, 557-568.
- Yukami, R., Aoki, I. and Mitani, I. (2008) Daily age of adult Japanese anchovy *Engraulis japonicus* off eastern Honshu, Japan by otolith daily increment. *Fish. Sci.*, 74, 1348-1350.
- Yu, Z.N., Kong, X.Y., Guo, T.H., Jiang, Y.Y., Zhuang, Z.M. and Jin, X.S. (2005) Mitochondrial DNA sequence variation of Japanese anchovy *Engraulis japonicus* from the Yellow Sea and East China Sea. *Fish. Sci.*, 71, 299-307.
- 渡辺和春(1958)日本海におけるカタクチイワシの成長について. *日水研年報.*, 4, 147-152.
- Zhao, X., Hamre, J., Li, F., Jin, X., Tang, Q. (2003) Recruitment, sustainable yield and possible ecological consequences of the sharp decline of the anchovy (*Engraulis japonicus*) stock in the Yellow Sea in the 1990s. *Fish. Oceanogr.*, 12, 495-501.