

## 第5章 西部太平洋におけるカツオ当歳魚の回遊と成長・成熟

### はじめに

西部太平洋のカツオ個体群には、孵化してから成魚になるまで熱帯海域に留まる熱帯滞留群と、成長とともに北上回遊し日本周辺海域で成魚に達した後、熱帯海域に戻って産卵する北上回遊群が存在し、両群の間で成長過程が異なることが示唆された(第4章)。黒潮親潮移行域で標識を装着して放流した成魚が、西部太平洋熱帯海域から中部太平洋熱帯海域に至る広い海域で再捕されていることから、西部太平洋のカツオ個体群中に複数の系群はないと考えられている(Langley *et al.* 2003, 小倉 2005)。1個体群の中になぜ異なる回遊生態を持つ2群が存在するのか、それがカツオ個体群の再生産にどのような意味を持つかは興味ある問題である。

魚類資源の加入機構に関する研究では、仔稚魚期の成長が遅い個体は被食などの減耗要因にさらされる期間が長くなるために生残確率が低くなると考えられている(Houde 1987)。仔魚群と稚魚群あるいは成魚群の間で生活史初期の成長履歴を比較した結果、仔魚期に成長速度の速かった個体が選択的に生き残って稚魚群や成魚群を構成することが北大西洋のマダラ的一种 *Gadus morhua* や黒潮親潮移行域のカタクチイワシで実証された(Meekan and Fortier 1996, Takahashi and Watanabe 2004)。西部太平洋のカツオ個体群において、回遊生態の異なる2群の間に初期成長様式の違いがあるとすると、それが各群の生残率の違いとなって現れ、個体群の加入量変動に大きな意味を持つかもしれない。

そこで本研究では、まず、どのような成長過程を経た個体が北上回遊群や熱帯滞留群を構成しているか明らかにするとともに、日本周辺海域で漁獲された当歳魚の日齢を調べて孵化日組成を求め、北上回遊群として日本周辺海域に來遊するカツオの発生時期を推定した。つぎに、西部太平洋におけるカツオの産卵場である北赤道海流域や赤道反流域で採集された仔稚魚と北上回遊群および熱帯滞留群の仔魚期～稚魚期における耳石日輪半径を比較することによって、北上回遊群と熱帯滞留群の発生海域を推定した。また、西部太平洋の主要な産

卵場である赤道海域で漁獲された成魚について、北赤道海流域や赤道反流域の仔稚魚、北上回遊群および熱帯滞留群の同一日齢時における耳石日輪半径を比較し、産卵場における成魚の回遊履歴を推定した。

## 材料と方法

### 1. 耳石日輪間隔と日輪半径を測定した標本

日輪間隔と日輪半径を測定した北上回遊群は、2002年7月8日～2003年10月16日までに北緯30度以北の日本周辺海域で漁獲された282～448 mm FLの未成魚70個体である。これらの生殖腺重量指数（GSI : Gonadosomatic index）は0.02～0.32であった。また、熱帯滞留群としては、2000年9月15日～2003年10月17日までに西部太平洋熱帯海域で採集された257～443 mm FLの未成魚126個体を用いた。これらのGSIは0.003～1.288と北上回遊群よりやや高かったが未成熟であった。これらの北上回遊群と熱帯滞留群の漁獲記録は表5-1に示した。

産卵場における仔稚魚標本として、1994～1996年の11～12月に北赤道海流域（北緯11～20度,  $N=133$ ）と赤道反流域（北緯2～7度,  $N=208$ ）において、山口県立水産高等学校の漁業実習船青海丸（403t）により、網口20×20 m、コッドエンドの目合8 mmのTANSYU-2型中層トロール網で採集した仔稚魚を用いた。これらの仔稚魚の採集記録と標本数および標準体長範囲を採集年別に表5-2に示した。

産卵場における成魚標本として、2002年3月15日～2003年11月5日に北緯10度から南緯10度の西部太平洋の赤道海域においてまき網で漁獲された成魚204個体（466～628 mm FL, GSI : 0.29～5.69）を用いた。これらの成魚群の漁獲記録は表5-3に示した。西部太平洋の赤道海域は、周年成熟魚が見られること（永沼1979）、年間漁獲量が100万トンを超えることから、カツオの主産卵場であり、主分布域であると考えられる。

オセアニア温帯海域の成魚標本として、2003年3月11日と25日に南緯37～40度、東経156～西経173度において竿釣り漁獲された成魚18個体（450～

545 mm FL) を用いた。オセアニア温帯海域の成魚の漁獲記録は表 5-4 に示した。

オセアニア温帯海域で漁獲された成魚を除く供試魚（仔魚～成魚）の漁獲位置を図 5-1 に示した。

## 2. 北上回遊群と熱帯滞留群の孵化日推定に用いた標本

採集日と日齢から孵化日を推定した北上回遊群は、北緯 30 度以北の日本周辺海域で 1997 年 8 月 27 日～2003 年 10 月 16 日に曳縄、竿釣り、まき網で漁獲された当歳の幼魚と未成魚（日輪半径を推定した未成魚を一部含む）238 個体（211～448 mm FL）である（表 5-5）。これらの標本の漁獲位置を図 5-2 に示した。

採集日と日齢から孵化日を推定した熱帯滞留群は、西部太平洋熱帯海域で 2000 年 9 月 15 日～2003 年 10 月 17 日にまき網で漁獲された未成魚 129 個体（257～443 mm FL）である（表 4-3）。

## 3. 耳石日輪間隔と日輪半径の測定

第 2 章に記述した耳石標本作成方法により、上記の仔稚魚～成魚の耳石標本を作成した。カツオの耳石半径は体長とアロメトリー関係にあるので（第 4 章）、ある日齢時における耳石日輪半径を個体間で比較したとき、日輪半径が大きい個体の方がその日齢時における体長が大きかったと推定される。同様に日輪間隔はその日齢時における成長速度の指標となると考えられる。本研究では、個体の成長履歴の指標として日輪半径と日輪間隔を第 4 章で述べた方法で計測した。

## 4. 肥満度

西部太平洋熱帯海域で漁獲されたカツオ成魚群には、温帯海域の黒潮親潮移行域などに回遊した後に熱帯海域に戻った個体が含まれている。熱帯滞留群の肥満度の推定は、北上回遊群を排除できる 400～450 mm FL の体長範囲の未成魚に限定して求めた。これと比較するために、北上回遊群の肥満度についても、黒潮親潮移行域以北で漁獲された 400～450 mm FL の体長範囲の未成魚に限定して求めた。

肥満度を測定した北上回遊群は、2000 年 6 月 13 日～2003 年 10 月 16 日に黒

潮親潮移行域以北において、水産高等学校練習船・各県水産試験場調査船・当業船により竿釣りともき網で漁獲された未成魚 151 個体 (1200~2200 g) であり、熱帯滞留群は、2000 年 2 月 4 日~2003 年 11 月 23 日に北緯 25 度以南の西部太平洋熱帯海域において同様の漁法で漁獲された未成魚 140 個体 (1100~2000 g) である。肥満度は下記の式により求めた。

$$C = W_s \times 10^6 / L^3$$

$C$  : 肥満度、 $W_s$  : 体重 ( g )、 $L$  : 尾叉長 ( mm )

## 5. 生殖腺重量指数

黒潮親潮移行域以北において、2000 年 5 月 25 日~2003 年 10 月 16 日に水産高等学校練習船・各県水産試験場調査船・当業船により竿釣り・まき網・曳縄で漁獲された未成魚と成魚 476 個体 (350~499 mm FL)、および北緯 25 度以南の西部太平洋熱帯海域において、2000 年 1 月 12 日~2003 年 11 月 23 日に水産高等学校練習船・各県水産試験場調査船・当業船により竿釣りともき網で漁獲された未成魚と成魚 541 個体 (280~499 mm FL) について、生殖腺重量指数 (GSI) を算出した。生殖腺重量を 0.1 g 単位で測定し、GSI ( $I_{gs}$ ) および生殖腺指数 GI ( $I_g$ ) を以下の式を用いて求めた。

$$I_{gs} = W_g \times 10^2 / W_s \text{ (Stéquet et al. 2001)}$$

$$I_g = W_g \times 10^7 / L^3 \text{ (浅野・田中 1971)}$$

$L$  : 尾叉長、 $W_g$  : 生殖腺重量 ( g )、 $W_s$  : 体重 ( g )

これまでに行われたカツオの再生産についての研究では、釣獲時に撒いたイワシ類の摂餌による誤差を避けるために GI が広く利用されてきた。しかし、本研究では、多くの魚種で一般的に利用されている GSI を用いた。永沼 (1979) は  $GI \geq 6.0$  を成熟魚とした。GSI ( $I_{gs}$ ) と GI ( $I_g$ ) の関係は次式のように表され、 $GI = 6.0$  は  $GSI = 2.8$  に相当することがわかった。したがって本研究では、永沼 (1979) に従い、 $GSI \geq 2.8$  のカツオを成熟魚とした。

$$I_{gs} = 0.467 I_g \text{ (} N = 5790, R^2 = 0.98 \text{)}$$

## 結果

### 1. 北上回遊群と熱帯滞留群の成長過程

耳石日輪半径解析に用いた北上回遊群 ( $N = 70$ , 282~448 mm FL, 179~428 日齢) と熱帯滞留群 ( $N = 126$ , 257~443 mm FL, 112~417 日齢) の体長および日齢の頻度分布を図 5-3、図 5-4 に示した。北上回遊群では 350 mm FL 以上の未成魚が多く、200~350 日齢に集中した。熱帯滞留群では 275~400 mm FL に広く分布し、100~250 日齢の未成魚が多かった。

北上回遊群と熱帯滞留群の成長過程を比較するため、2~200 日齢時の耳石日輪間隔の 5 日間移動平均を求めた (図 5-5)。両群の日輪間隔の差の検定を行った結果、9~53 日齢時の耳石日輪間隔は熱帯滞留群が北上回遊群より有意に大きかった (Mann-Whitney の  $U$  検定,  $P < 0.05$ )。逆に、59~153 日齢時までは、北上回遊群の日輪間隔が熱帯滞留群より有意に大きかった (Mann-Whitney の  $U$  検定,  $P < 0.05$ )。154 日齢時以降、両群の耳石日輪間隔は約 3  $\mu\text{m}$  でほぼ一定であった。

北上回遊群と熱帯滞留群の 300 日齢時までの耳石日輪半径の変化を図 5-6 に示した。6 日齢時までは両群の日輪半径に有意差は認められなかった (Mann-Whitney の  $U$  検定,  $P > 0.05$ )。7~108 日齢時には、北上回遊群の日輪半径が熱帯滞留群より有意に小さく (Mann-Whitney の  $U$  検定,  $P < 0.05$ )、この日齢時における北上回遊群の体長は熱帯滞留群より小さかったと考えられる。109 日齢時以降 300 日齢時までは、両群の日輪半径に有意差は認められなかったが (Mann-Whitney の  $U$  検定,  $P > 0.05$ )、250 日齢を超えると平均耳石日輪半径は北上回遊群の方が大きい傾向にあった。

### 2. 北上回遊群と熱帯滞留群の孵化時期

日輪半径を推定した未成魚 ( $N = 70$ ) に、日輪の計数のみを行って孵化日を求めた標本を加え、北緯 30 度以北の日本周辺海域で 1997 年 8 月 27 日~2003 年 10 月 16 日に竿釣り・まき網・曳縄で漁獲された幼魚と未成魚 238 個体 (211~448 mm FL, 81~320 日齢) (図 5-2) について、漁獲海域別に孵化月の頻度分布を求めた (図 5-7)。孵化月は 9 月から 5 月にわたり、いずれの海域でも 3~5 月

に多くの個体が孵化していた。一方、熱帯滞留群 ( $N = 129$ , 257~443 mm FL, 112~417 日齢) の孵化月は、7 月以外のほぼ周年にわたっていた。(図 5-8)。

### 3. 北赤道海流域と赤道反流域におけるカツオの初期成長

北赤道海流域 ( $N = 133$ , 9.2~44.3 mm SL, 13~37 日齢) と赤道反流域 ( $N = 208$ , 8.6~82.5 mm FL, 9~34 日齢) で採集された仔稚魚の体長および日齢の頻度分布を図 5-9、図 5-10 に示した。どちらの海域においても 10~25 mm SL、10~20 日齢の個体が多くを占めた。

北赤道海流域と赤道反流域で採集されたカツオ仔稚魚の耳石半径と標準体長の関係を求めた。いずれの海域も直線に回帰され、回帰式は北赤道海流域で  $L_{st} = 0.08r + 2.25$  ( $R^2 = 0.90$ ,  $N = 133$ )、赤道反流域で  $L_{st} = 0.10r - 1.31$  ( $R^2 = 0.97$ ,  $N = 208$ ) となった (図 5-11)。これらの回帰直線には統計的な差は認められなかった (F 検定,  $P = 0.26$ )。

北赤道海流域で採集された仔稚魚 133 個体 (11~37 日齢) と赤道反流域で採集された仔稚魚 208 個体 (9~34 日齢) の日齢 ( $t$ ) と標準体長 ( $L_{st}$ ) の関係は以下のような一次式で表された (図 5-12)。

$$\text{北赤道海流域: } L_{st} = 1.59t - 9.07 \quad (R^2 = 0.89)$$

$$\text{赤道反流域: } L_{st} = 2.79t - 20.94 \quad (R^2 = 0.89)$$

これらの回帰直線の傾き、すなわち成長速度は両海域で有意に異なり (F 検定,  $P < 0.05$ )、赤道反流域の仔稚魚は、北赤道海流域の仔稚魚よりも成長速度が大きいことがわかった。

両海域ともに 20 個体以上の仔稚魚について測定された 20 日齢までの耳石日輪半径の変化を比較した (図 5-13)。赤道反流域で採集された仔稚魚の 1~20 日齢時の耳石日輪半径は北赤道海流域で採集された仔稚魚の耳石日輪半径よりも有意に大きく (Mann-Whitney の  $U$  検定,  $P < 0.001$ )、1~20 日齢時の体長は赤道反流域で採集された仔稚魚の方が北赤道海流域で採集された仔稚魚より大きいことがわかった。稚魚期に移行後、成長速度が急激に増大した 12 日齢時の日輪半径は、赤道反流域で採集された仔稚魚では 70~180  $\mu\text{m}$  の範囲にあり、平均は  $127.5 \pm 36.1 \mu\text{m}$  ( $N = 179$ ) であった。北赤道海流域では 50~110  $\mu\text{m}$  の範囲に集中し、平均は  $77.0 \pm 16.8 \mu\text{m}$  ( $N = 131$ ) で赤道反流域の仔稚魚より有意に小さ

かった (Mann-Whitney の  $U$  検定,  $P < 0.001$ , 図 5-14)。

#### 4. 産卵場における仔稚魚の初期成長と北上回遊群、熱帯滞留群との対応

北赤道海流域および赤道反流域で採集された仔稚魚と、北上回遊群および熱帯滞留群について、20 日齢時までの耳石日輪半径の変化を比較した (図 5-15)。北上回遊群と北赤道海流域の仔稚魚の日輪半径の変化傾向はほぼ一致し、熱帯滞留群と赤道反流域の仔稚魚とがほぼ一致した。

12 日齢時における日輪半径の頻度分布を解析した結果 (図 5-16)、北上回遊群と熱帯滞留群の日輪半径の頻度分布は正規分布を示した (Kolmogorov-Smirnov 検定,  $P > 0.05$ )。12 日齢時の日輪半径 ( $82.8 \pm 26.5 \mu\text{m}$ ) は、北上回遊群において熱帯滞留群 ( $128.1 \pm 29.5 \mu\text{m}$ ) より有意に小さかった (Mann-Whitney の  $U$  検定,  $P < 0.001$ )。北上回遊群と北赤道海流域の仔稚魚の日輪半径 ( $77.0 \pm 16.8 \mu\text{m}$ ) には有意差は認められなかった (Mann-Whitney の  $U$  検定,  $P = 0.24$ )。同様に熱帯滞留群 ( $128.1 \pm 29.5 \mu\text{m}$ ) と赤道反流域で採集された仔稚魚 ( $127.5 \pm 36.1 \mu\text{m}$ ) についても、有意差は認められなかった (Mann-Whitney の  $U$  検定,  $P = 0.76$ )。

#### 5. 赤道海域における成魚の初期成長

赤道海域で漁獲されたカツオ成魚 ( $N = 204$ ) の体長組成と日齢組成の頻度分布を図 5-17、図 5-18 に示した。体長範囲は 466~710 mm FL であり、525~575 mm FL が卓越していた (図 5-17)。日齢範囲は、364 (466 mm FL) ~812 (692 mm FL) 日齢であり、450~700 日齢の個体が多かった (図 5-18)。

赤道海域で漁獲された成魚を 1~6 月孵化群と 7~12 月孵化群に区別し、12 日齢時の耳石日輪半径の頻度分布を作成した。両群とも双峰型を示し、これらの頻度分布は正規分布を示した北上回遊群と熱帯滞留群から構成されると考えられることから、相沢・滝口 (1999) を参考に 2 つの正規分布に分解した (図 5-19)。1~6 月孵化群 ( $N = 105$ ) の日輪半径が小さい側のコホートのモードは 60~70  $\mu\text{m}$ 、平均  $\pm$  SD は  $65.0 \pm 14.5 \mu\text{m}$  であり、大きい側のコホートのモードは 130~140  $\mu\text{m}$ 、 $117.1 \pm 33.4 \mu\text{m}$  であった。また、2 つのコホートに含まれる個体数の比は 55 : 45 であった。同様に 7~12 月孵化群 ( $N = 99$ ) において、日輪半径が小さい側のコホートのモードは、60~70  $\mu\text{m}$  で平均  $\pm$  SD は  $63.4 \pm 15.7 \mu\text{m}$ 、大きい側の

コホートのモードは 130~140  $\mu\text{m}$ 、平均 $\pm$ SD は 121.3 $\pm$ 39.8  $\mu\text{m}$ 、2つのコホートに含まれる個体数の比は 57:43 であった。1~6 月孵化群と 7~12 月孵化群の間で、耳石日輪半径の小さい側のコホートの平均値間、大きい側のコホートの平均値間に差はなかった。

## 6. オセアニア温帯海域で漁獲されたカツオの耳石日輪半径と孵化時期

オセアニア温帯海域において竿釣りで漁獲された成魚 ( $N = 18$ , 450~545 mm FL) は 354~578 日齢であった。孵化月は 8~3 月に分布し、11 月が高い割合を占めた (図 5-20)。12 日齢時の耳石日輪半径は、77.9 $\pm$ 13.3  $\mu\text{m}$  であり、北上回遊群および北赤道海流域の仔稚魚の 12 日齢時日輪半径と有意差は認められなかった (Kruskal-Wallis の検定,  $P = 0.51$ )。

## 7. 肥満度

400~450 mm FL の未成魚について、熱帯滞留群 ( $N = 140$ ) と黒潮親潮移行域以北で漁獲された北上回遊群 ( $N = 151$ ) の肥満度の頻度分布を図 5-21 に示した。北上回遊群の肥満度の範囲は 15.3~25.5 で、平均 $\pm$ SD は 20.7 $\pm$ 2.0 であった。熱帯滞留群の肥満度の範囲は 15.9~23.5 で、平均は 19.7 $\pm$ 1.7 であった。北上回遊群の肥満度は、熱帯滞留群より有意に高かった (Welch の検定,  $P < 0.001$ )。

## 8. 生殖腺重量指数

黒潮親潮移行域以北と西部太平洋熱帯海域で漁獲された 500 mm FL 以下の未成魚と成魚の尾叉長と GSI の関係を図 5-22 に示した。黒潮親潮移行域以北で漁獲された群の GSI の最大値は 2.00 (471 mm FL) で、 $GSI \geq 2.8$  の成熟魚は見られなかった。これに対し、西部太平洋熱帯海域で漁獲された群では 400 mm FL 前後から 2.8 に近い GSI を示す個体が見られ、 $GSI \geq 2.8$  の成熟魚の最小尾叉長は 470 mm FL (GSI 3.57)、GSI の最大値は 3.80 (496 mm FL) であった。



## 考 察

### 1. 北上回遊群と熱帯滞留群の成長過程

熱帯滞留群の 9～53 日齢の日輪間隔は北上回遊群より大きいことから、熱帯滞留群の初期成長は北上回遊群より大きく、その結果、熱帯滞留群は 7～108 日齢まで北上回遊群より体長（日輪半径）が大きいことがわかった。しかし、孵化後 50 日を超えると熱帯滞留群の日輪間隔は急速に減少したのに対して、北上回遊群の日輪間隔の減少は緩やかで、59～154 日齢時の日輪間隔は北上回遊群の方が大きかった。その結果、109 日齢以降の体長には両群間で差がなくなり、200 日齢以降では北上回遊群の尾叉長が熱帯滞留群を上回ったと考えられた（図 5-6）。以上のように、北上回遊群は、175 mm FL 前後までの初期成長が熱帯滞留群に比べると緩やかであるが、その後の成長速度の低下が小さいため、加齢に伴って同一日齢時の体長が熱帯滞留群を上回ることがわかった。これは、北上回遊群の尾叉長が同日齢の熱帯滞留群より大きいこと（図 4-4）で裏付けられた。

### 2. 北上回遊群と熱帯滞留群の発生海域

北赤道海流域と赤道反流域で採集された仔稚魚では、同一日齢における尾叉長が赤道反流域の群で有意に大きかった（図 5-12）。両群の耳石半径－尾叉長関係に差がないので（図 5-11）、耳石日輪半径は体長を示す指標となる。12 日齢までの日輪半径の変化から、赤道反流域の仔稚魚の成長が速いこと、その結果、12 日齢時の日輪半径すなわち尾叉長が赤道反流域で有意に大きいことがわかった。上に述べた北上回遊群の 12 日齢までの日輪半径の増加過程は、北赤道海流域で採集された仔稚魚に近似し、12 日齢時における日輪半径の平均値は北赤道海流域の仔稚魚と有意差がなかった。また、熱帯滞留群の日輪半径の増加過程は赤道反流域の仔稚魚とほぼ一致し、12 日齢時における日輪半径の平均値は赤道反流域の仔稚魚と差がなかった。以上のことから、日本周辺海域で漁獲される北上回遊群は、カツオの産卵場内の北部に位置する北赤道海流域で生まれ、この海流とその下流の黒潮に乗って日本周辺海域に来遊する群から構成されると考えられた。一方、熱帯滞留群は、産卵場内の低緯度部分に位置する赤道反

流域で生まれ、熱帯海域に留まった群であると考えられた。

日本周辺海域に來遊する北上回遊群当歳魚の孵化月は、9～5月にわたっており、3～5月に集中していた(図5-7)。西部太平洋におけるカツオの産卵期は、熱帯海域では周年、亜熱帯海域では春から秋であると考えられている(Matsumoto *et al.*, 1984)。永沼(1979)によると、成魚の雌の生殖腺を調べた結果、 $GSI \geq 2.8$ の成熟魚は4～9月は北緯35度～南緯15度の海域に分布し、北半球中心であったのに対し、10～3月は北緯22度～南緯24度の海域に分布し、南半球に成熟魚の分布中心があることがわかった。仔稚魚は、1～3月に北緯20度～南緯20度の西部太平洋に出現するが、南半球より北半球の海域により多くが出現し、4～6月には赤道反流域、北赤道海流域および黒潮域に広く分布したのに対し、南半球では南緯10度以北に少数出現した。7～9月は北緯35度～南緯15度の広い海域に出現するが、10～12月は北緯25度～南緯25度と南側へ移動した(西川ら1985)。以上のような産卵場の季節的南北移動と、北上回遊群の孵化月が3～5月に集中したことを考え合わせると、黒潮親潮移行域を含む日本周辺海域に來遊する北上回遊群は、西部太平洋の北赤道海流域において、3～5月に発生した個体を中心に構成されると判断された。

### 3. 熱帯海域の成魚群中における北上回遊群と熱帯滞留群の割合

西部太平洋熱帯海域のカツオ産卵場の中心域で漁獲された成魚のうち、1～6月に孵化した群の12日齢時の耳石日輪半径頻度分布は双峰型を示した(図5-19)。日輪半径が小さい側のコホートの平均値( $65.0 \pm 14.5 \mu\text{m}$ )は、北上回遊群の12日齢時日輪半径の平均値( $82.8 \pm 26.5 \mu\text{m}$ )、北赤道海流域の仔稚魚の日輪半径の平均値( $77.0 \pm 16.8 \mu\text{m}$ )と近似した。また、日輪半径が大きい側のコホートの平均値( $117.1 \pm 33.4 \mu\text{m}$ )は、熱帯滞留群の12日齢時の日輪半径の平均値( $128.1 \pm 29.5 \mu\text{m}$ )、赤道反流域で採集された仔稚魚の12日齢時の日輪半径の平均値( $127.5 \pm 36.1 \mu\text{m}$ )と近似した。これらの対応関係は、北赤道海流域で孵化した仔魚が日本周辺海域へ北上した後に成魚として熱帯海域へ戻り、熱帯滞留群とともに産卵親魚群を構成していることを示している。1～6月孵化群については、北上回遊群に相当する日輪半径の小さい側のコホートの個体数が全個体数の55%を占めたことから、産卵親魚群中で北上回遊群の個体数が熱帯滞留群より

多いと考えられた。

オセアニアの温帯海域で漁獲された成魚の 12 日齢時の日輪半径の平均値 ( $77.9 \pm 13.8 \mu\text{m}$ ) と、北上回遊群、北赤道海流域の仔稚魚の 12 日齢時日輪半径とは差がなかった。したがって、西部太平洋の南半球には、北半球で見られた北上回遊群に相当する南下回遊群が存在することが示唆された。南下回遊群が存在するとすれば、西流する南赤道海流域で生まれた仔魚が、南赤道海流と東オーストラリア海流に乗ってオセアニア温帯海域まで南下回遊して成魚となると推測される。10~12 月には南半球の産卵場に仔魚が多く分布することから(西川ら 1985)、本研究で 7~12 月に孵化した熱帯海域の成魚群のうち、12 日齢時の日輪半径頻度分布で小さい側のコホート(図 5-19)はオセアニア温帯海域まで南下した群に当たると考えられた。このコホートに含まれる個体数は全体の 57%を占めたことから、7~12 月孵化群についても、産卵親魚中に占める温帯海域へ回遊した群の割合が熱帯滞留群より高いと考えられる。

#### 4. 海域の生産力とカツオの成長、成熟

西部太平洋における海域の生産力を概観すると、赤道海域では赤道湧昇によって深層から栄養塩が供給され、一次生産量が比較的高いのに対して、北(南)赤道海流域では生産量が低い。人工衛星による海色画像から年間一次生産量を推定した結果、北赤道海流域の  $75 \sim 100 \text{ gC/m}^2/\text{y}$  に対して、赤道反流域では  $100 \sim 150 \text{ gC/m}^2/\text{y}$  と高かった (Antoine *et al.* 1996)。田邊 (2002) は、1994 年 11~12 月に北赤道海流域と赤道反流域において、水深 50 m から表面まで稚魚ネット(口径 2m)の傾斜曳きを 2 ネット 10 分間行い、カツオ稚魚の餌生物となる仔魚の分布密度を調査した。その結果、北赤道海流域では平均 23.1 尾/曳網であったのに対し、赤道反流域では平均 51.8 尾/曳網であった(図 5-23)。赤道反流域で採集されたカツオ仔稚魚において、日齢-尾叉長関係の回帰直線の傾きおよび 12 日齢時の耳石日輪半径が北赤道海流域で採集された仔稚魚より有意に大きかったこと、したがって仔稚魚期の成長速度が大きかったことは、このような海域の生産力の違いに裏付けられていると考えられる。

仔稚魚期に成長速度が小さかった北上回遊群では、熱帯滞留群が 50 日齢以降急速に成長速度を低下させるのに対して、成長速度の低下が相対的に小さく、

およそ 200 日齢時までには熱帯滞留群の尾叉長水準を超えた (図 4-4, 図 5-6)。体長だけでなく、肥満度も北上回遊群において熱帯滞留群より有意に大きかった (図 5-21)。このように、幼魚期には北上回遊群が体長においても体重においても熱帯滞留群より高い成長を示すことは、黒潮親潮移行域など日本周辺海域の生産力の高さによって説明される。また、二平 (1996) は 8~10 月に黒潮親潮移行域で漁獲対象の主群である 500~550 mm FL の成魚 (北上回遊群) について、標識放流を行った結果、冬季から翌年の春季に亜熱帯反流域から赤道反流域で再捕されたことから、日本周辺海域で漁獲された未成魚と成魚の日齢と尾叉長の関係を考慮して (図 4-4)、北上回遊群は 1.5 歳以上で熱帯海域に戻って産卵に加入すると考えられた。

熱帯滞留群では、450 mm FL を超えると生殖腺が発達した個体の割合が増加し、470 mm FL 台から  $GSI \geq 2.8$  の成熟個体が出現するのに対して、黒潮親潮移行域に分布する北上回遊群では、450 mm FL を超えても成熟が進行しない (図 5-22)。北上回遊群では成魚に達しても成熟にエネルギーを配分することなく体成長を続けることが、体長と体重の増加を維持できる要因となっている。450 mm FL 未満の未成魚において既に北上回遊群の肥満度が熱帯滞留群を上回ったこと (図 5-21) から考えると、450 mm FL を超えて熱帯滞留群の成熟が進むにしたがって、両群の肥満度の差はさらに大きくなると推測される。

表5-1. 日本周辺海域と西部太平洋熱帯海域で漁獲され耳石日輪半径と日輪間隔を推定したカツオ未成魚の漁獲記録.

日本周辺海域

年/月/日	漁獲位置		漁法	標本数	尾叉長(mm)
	緯度(北緯)	経度(東経)			
2002/7/8	36° 40′	146° 49′	竿釣り	1	395
7/14-1	36° 41′	146° 46′	竿釣り	3	368-397
7/14-2	35° 42′	146° 04′	竿釣り	1	397
7/20-1	38° 27′	147° 34′	竿釣り	1	412
7/20-2	38° 27′	147° 23′	竿釣り	2	390-406
7/20-3	38° 26′	147° 25′	竿釣り	1	407
7/20-4	38° 22′	147° 21′	竿釣り	1	380
7/20-5	38° 19′	147° 22′	竿釣り	1	392
7/21	38° 04′	144° 52′	竿釣り	1	381
9/3	38° 00′	148° 00′	竿釣り	11	363-448
10/4	35° 00′	139° 38′	竿釣り	5	308-327
10/5	35° 05′	139° 30′	竿釣り	3	282-396
10/16	40° 21′	149° 07′	竿釣り	11	360-406
10/23	35° 08′	139° 38′	曳縄	2	322-348
11/12	33° 57′	145° 15′	竿釣り	8	394-422
2003/7/16-1	36° 44′	151° 36′	竿釣り	1	430
7/16-2	36° 44′	151° 38′	竿釣り	1	440
7/23	38° 00′	145° 00′	まき網	1	445
8/25	38° 00′	149° 00′	竿釣り	13	322-445
10/16	38° 55′	145° 05′	まき網	2	422-440
			合計	70	282-448

西部太平洋熱帯海域

2000/9/15	0° 08′	171° 56′	まき網	39	257-341
2002/6/18	0° 30′	179° 28′	まき網	20	306-443
9/12	3° 11′	167° 20′	まき網	10	319-359
2003/9/13	1° 54′	151° 41′	まき網	18	361-426
10/5	0° 03′	175° 24′	まき網	5	417-434
10/17	2° 15′ S	175° 24′	まき網	34	270-385
			合計	126	257-443

表5-3. 西部太平洋赤道海域におけるカツオ成魚の漁獲記録.

年/月/日	漁獲位置		漁法	標本数	尾叉長(mm)
	緯度(北緯)	経度(東経)			
3/15	2° 56′	146° 37′	まき網	10	488-556
4/29	5° 35′	166° 12′	まき網	5	500-584
5/9	3° 45′	159° 56′	まき網	14	501-605
6/16	1° 48′	179° 45′	まき網	10	525-568
6/27	4° 41′	167° 20′	まき網	10	518-574
7/26	1° 09′	170° 57′	まき網	9	517-560
8/10	2° 44′	172° 06′	まき網	10	524-560
8/13	3° 32′	171° 51′	まき網	12	530-628
9/27	4° 24′	164° 59′	まき網	10	525-568
11/8	5° 09′ S	171° 10′	まき網	6	515-578
11/9	7° 30′ S	170° 00′	まき網	10	513-567
2003/1/14	0° 32′	158° 53′	まき網	9	508-580
2/14	2° 04′	152° 46′	まき網	13	512-550
2/26-1	3° 13′	153° 19′	まき網	4	534-569
2/26-2	3° 23′	153° 09′	まき網	8	526-559
3/21	6° 26′	140° 48′	まき網	9	531-567
5/11	5° 30′	137° 35′	まき網	11	516-597
6/3	5° 58′	141° 00′	まき網	12	533-604
2003/8/5	0° 23′	161° 48′	まき網	8	539-570
9/23	1° 22′	167° 30′	まき網	13	506-598
10/5	0° 03′	159° 12′	まき網	3	466-524
11/5	2° 33′	172° 56′	まき網	8	540-572
			合計	204	466-628

表5-4. オセアニア温帯海域におけるカツオ成魚の漁獲記録.

年/月/日	漁獲位置		漁法	標本数	尾叉長(mm)
	緯度(南緯)	経度(東経)			
2003/3/11	36° 40′	156° 25′	竿釣り	8	450-480
3/25	40° 27′	172° 58′ W	竿釣り	10	490-545
			合計	18	450-545

表5-5. 日本周辺海域で漁獲され孵化月を推定したカツオ当歳魚の漁獲記録.

年/月/日	漁獲位置		漁獲海域	漁法	標本数	尾叉長(mm)
	緯度(北緯)	経度(東経)				
1997/8/27	37° 08'	149° 30'	●	竿釣り	13	298-355
1998/8/10	33° 28'	136° 49'	○	曳縄	1	228
9/1	33° 28'	136° 49'	○	曳縄	1	314
10/2	33° 28'	136° 49'	○	曳縄	1	328
10/9	33° 28'	136° 49'	○	曳縄	2	336-356
1999/8/29	35° 00'	139° 30'	○	竿釣り	2	341-368
9/13	33° 45'	136° 03'	○	曳縄	2	278-282
9/30	33° 28'	136° 49'	○	曳縄	6	308-314
7/19	33° 29'	135° 56'	○	曳縄	1	294
7/21	33° 39'	136° 00'	○	曳縄	1	276
2000/7/22	33° 38'	136° 00'	○	曳縄	15	211-294
7/30-2	34° 01'	139° 01'	○	竿釣り	2	265-292
8/22-1	31° 29'	130° 02'	◎	曳縄	21	252-271
8/22-2	35° 10'	139° 30'	○	竿釣り	6	271-311
9/10	35° 09'	139° 31'	○	竿釣り	22	328-375
9/14	35° 10'	139° 26'	○	竿釣り	25	328-406
9/16	40° 20'	145° 30'	●	竿釣り	19	340-420
9/27	40° 29'	145° 41'	●	竿釣り	9	335-367
2001/8/9	35° 52'	140° 59'	○	竿釣り	2	249-250
8/24	31° 29'	130° 06'	◎	曳縄	13	263-295
9/5	35° 15'	139° 15'	○	竿釣り	7	374-418
9/17	40° 15'	146° 16'	●	曳縄	1	336
9/23	35° 10'	139° 31'	○	竿釣り	9	294-412
9/24	35° 11'	139° 30'	○	竿釣り	3	273-311
2002/9/3	38° 00'	148° 00'	●	竿釣り	11	363-448
10/4	35° 00'	139° 38'	○	竿釣り	5	308-327
10/5	35° 05'	139° 30'	○	竿釣り	3	282-396
10/16	40° 21'	149° 07'	●	竿釣り	11	360-406
10/23	35° 08'	139° 38'	○	曳縄	2	322-348
11/12	33° 57'	145° 15'	○	竿釣り	9	394-422
2003/8/25	38° 00'	149° 00'	●	竿釣り	11	322-445
10/16	38° 55'	145° 05'	●	まき網	2	422-440
				合計	238	211-448

◎: 東シナ海. ○: 黒潮～黒潮続流域. ●: 黒潮親潮移行域.



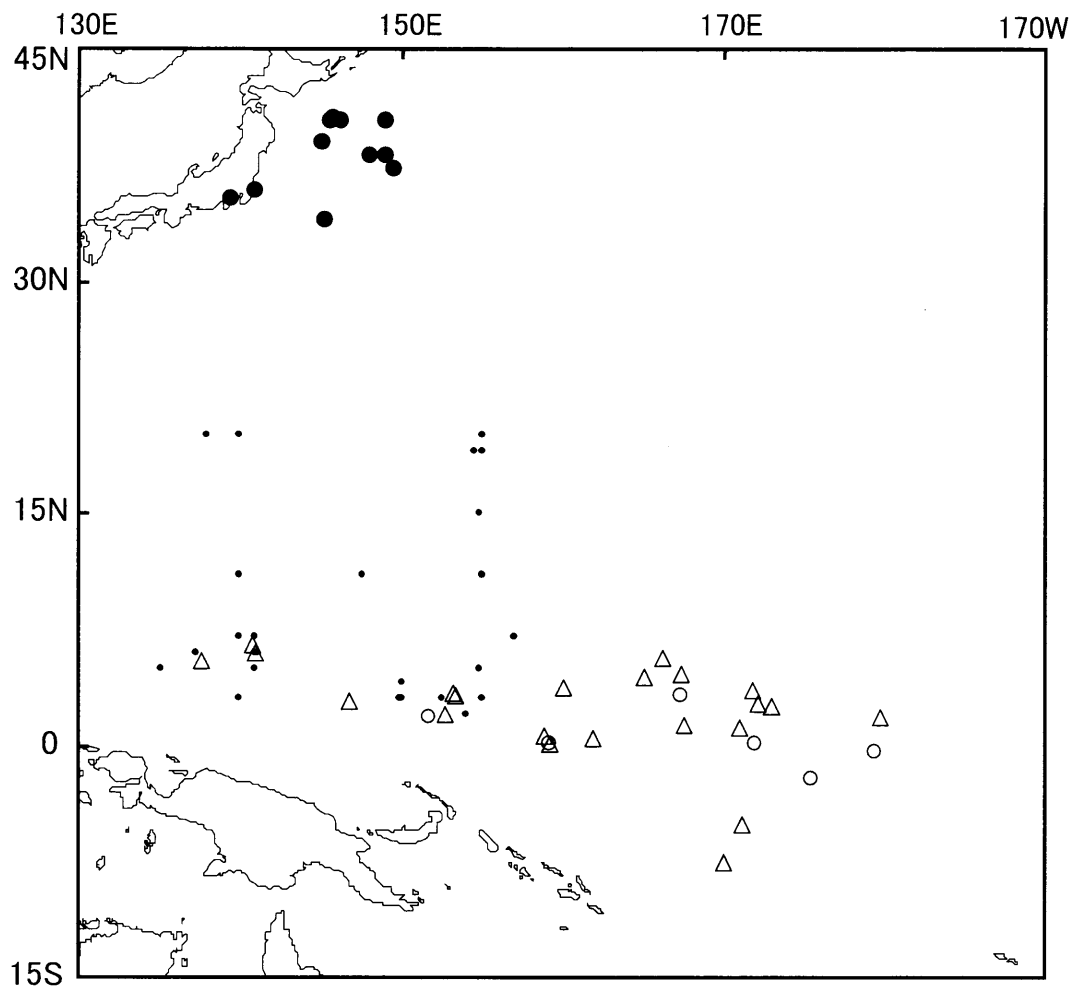


図5-1. 耳石日輪半径を推定したカツオの採集位置.  
 ●: 北上回遊群、○: 熱帯滞留群、△: 赤道海域の成魚、  
 ・: 仔稚魚.

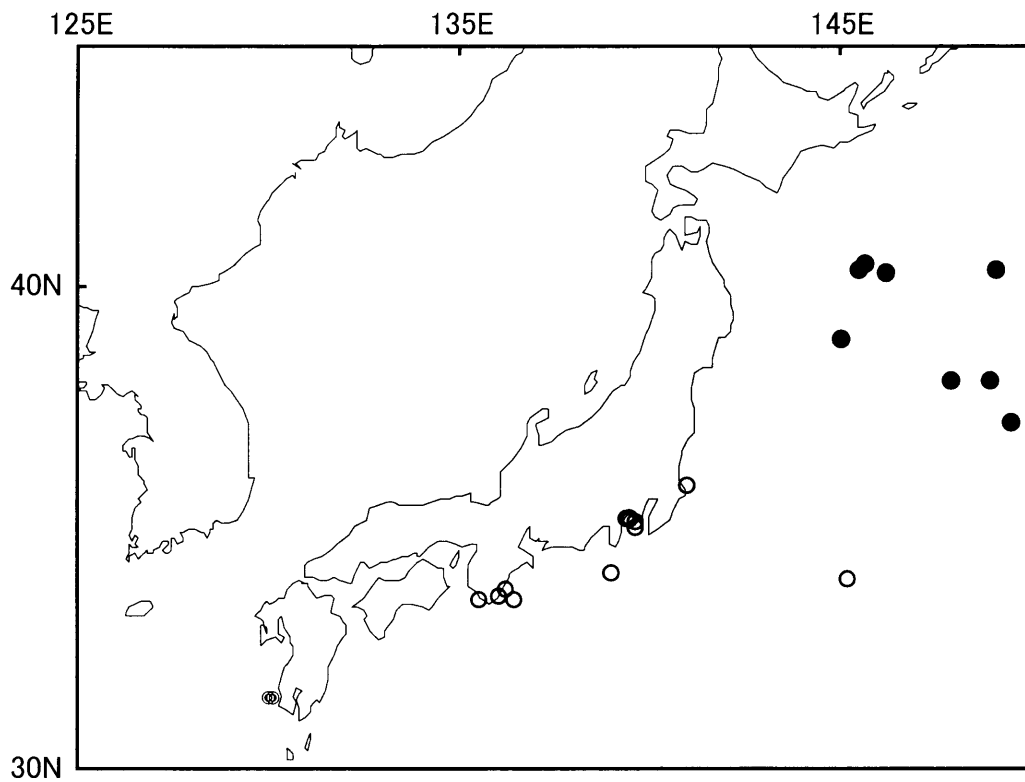


図5-2. 東シナ海(◎,  $N=34$ )、黒潮～黒潮続流域(○,  $N=127$ )、および黒潮親潮移行域(●,  $N=77$ )におけるカツオ北上回遊群当歳魚の漁獲位置.

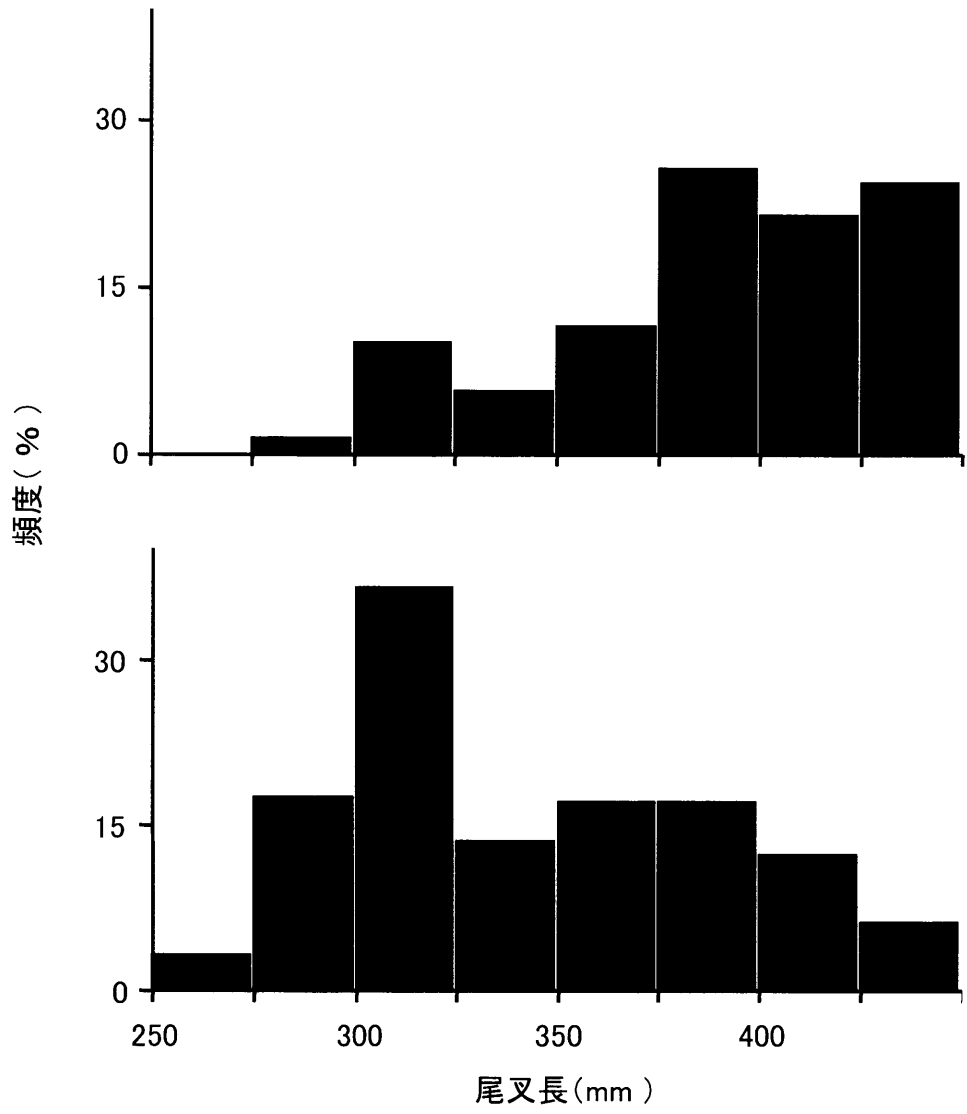


図5-3. 北上回遊群(上, N=70)と熱帯滞留群(下, N=126)の体長組成.

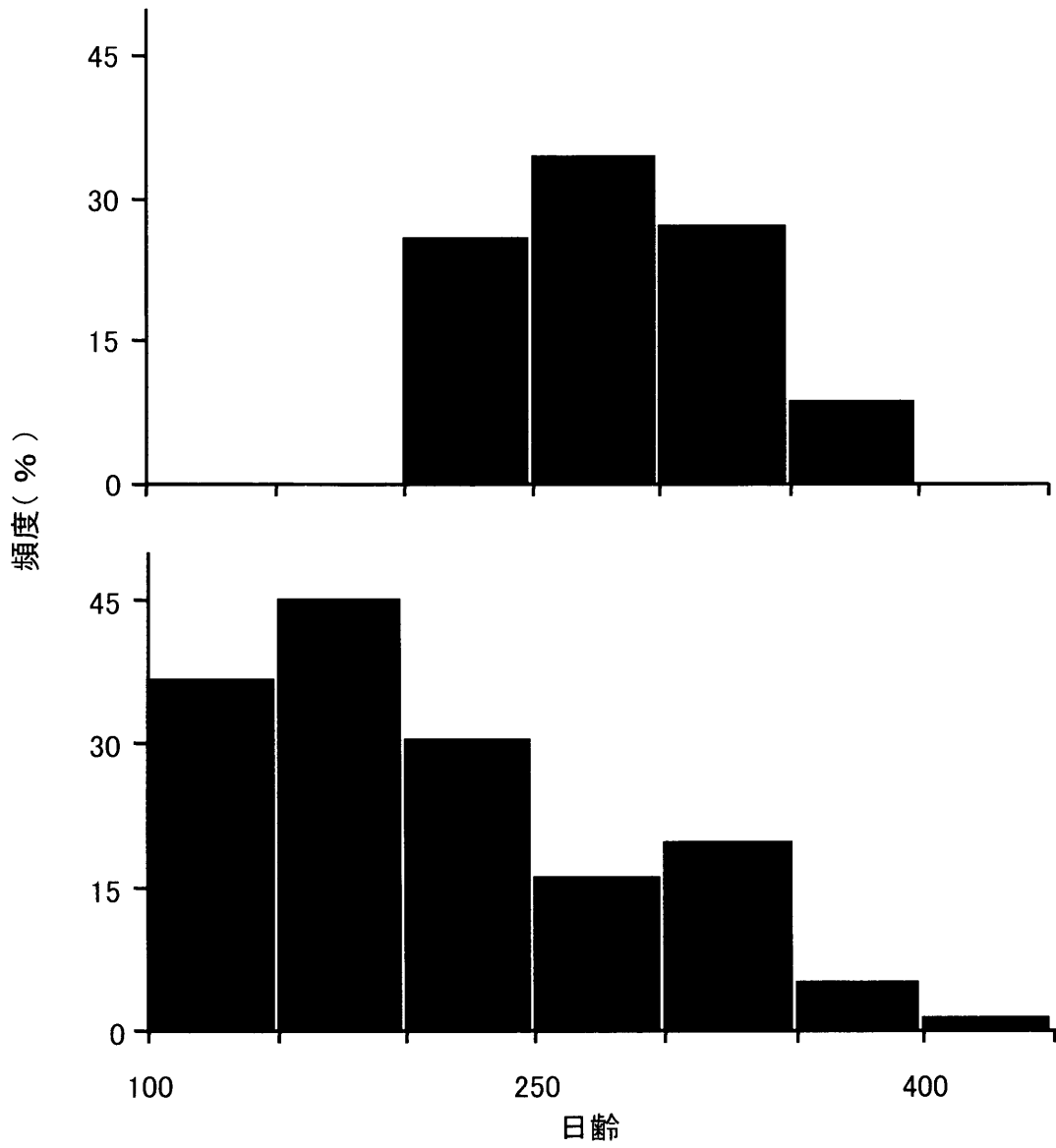


図5-4. 北上回遊群(上,  $N=70$ )と熱帯滞留群(下,  $N=126$ )の日齢組成.

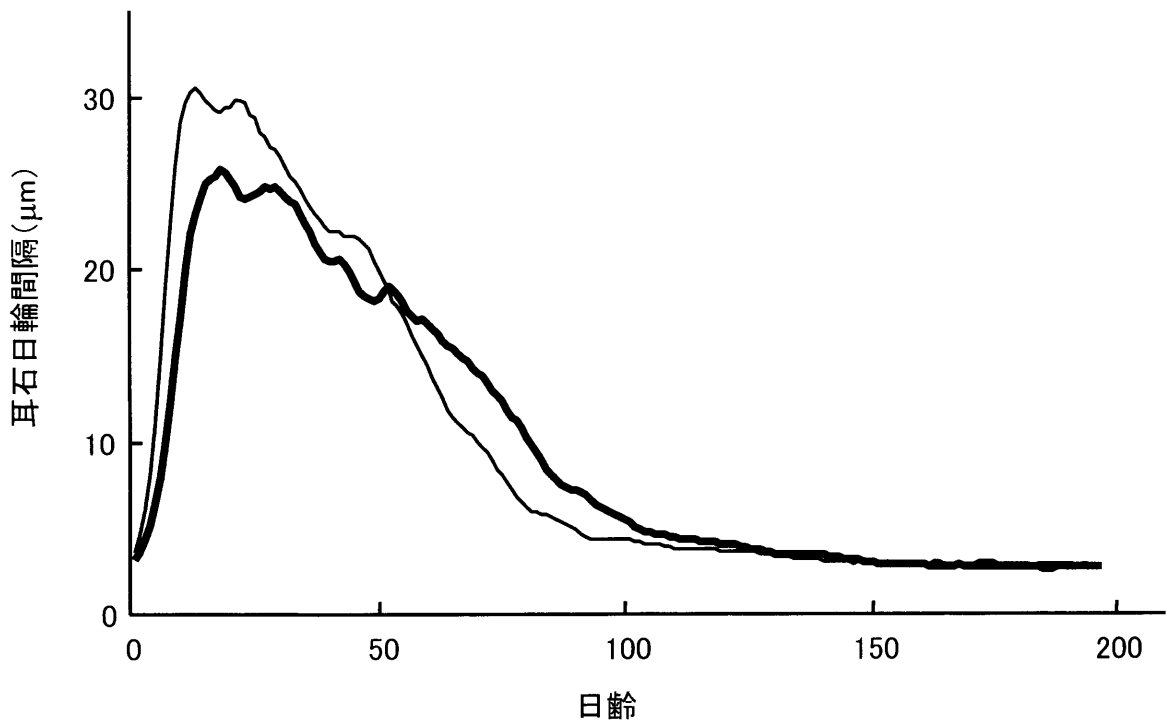


図5-5. 北上回遊群(—,  $N=70$ )と熱帯滞留群(—,  $N=126$ )の耳石日輪間隔の変化.

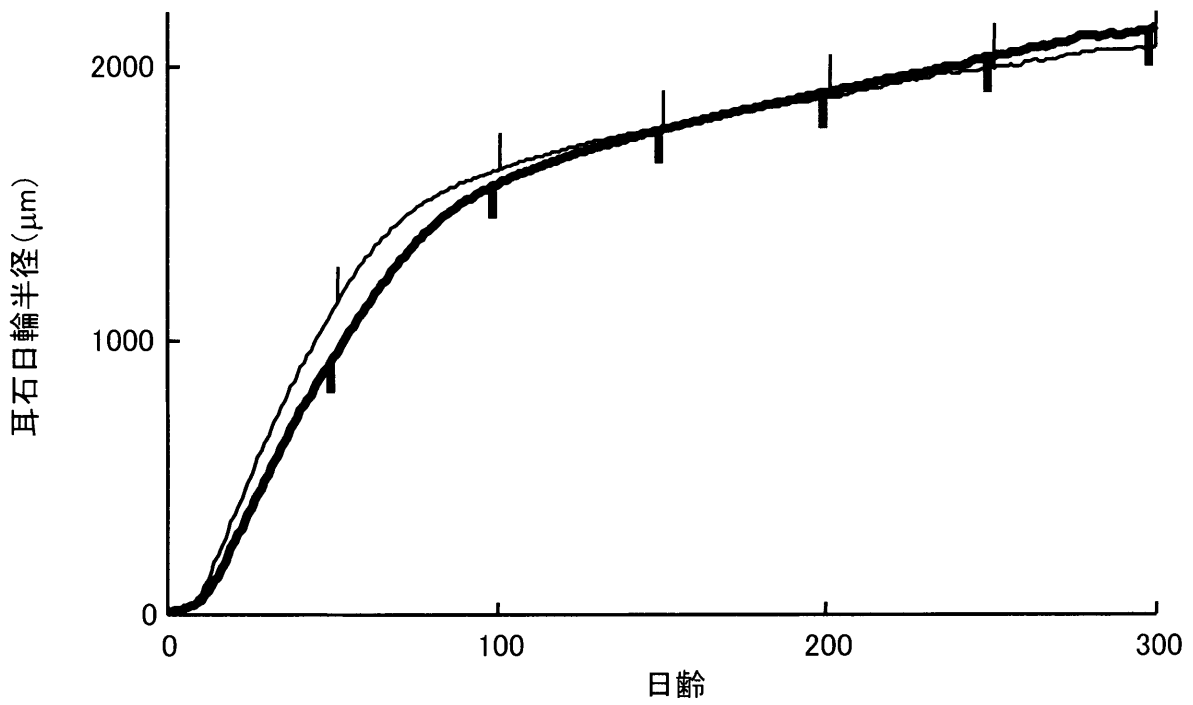


図5-6. 北上回遊群(—,  $N=70$ )と熱帯滞留群(---,  $N=126$ )の耳石日輪半径の変化. 縦棒は標準偏差.

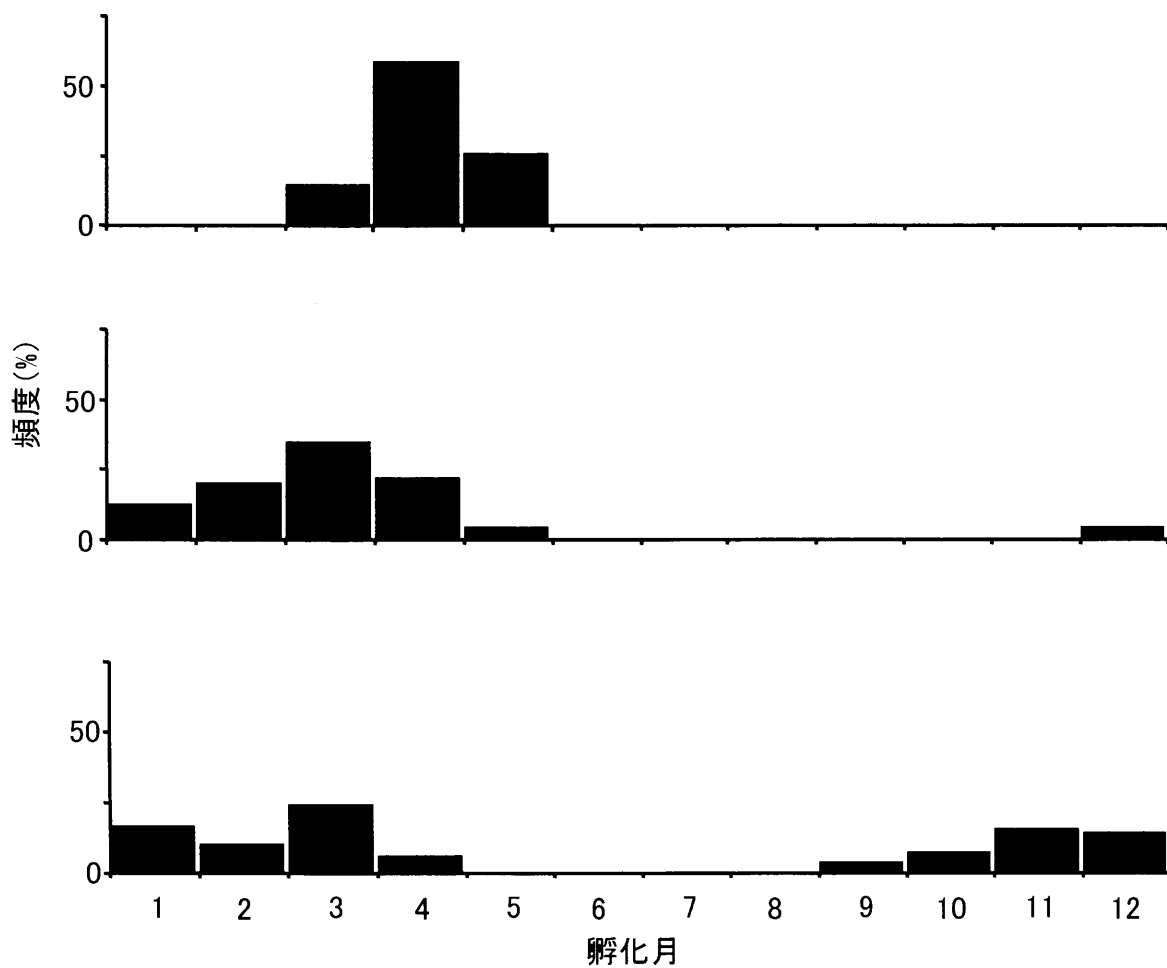


図5-7. 東シナ海(上,  $N=34$ )、黒潮～黒潮続流域(中,  $N=127$ )、および黒潮親潮移行域(下,  $N=77$ )におけるカツオ北上回遊群当歳魚の孵化月。

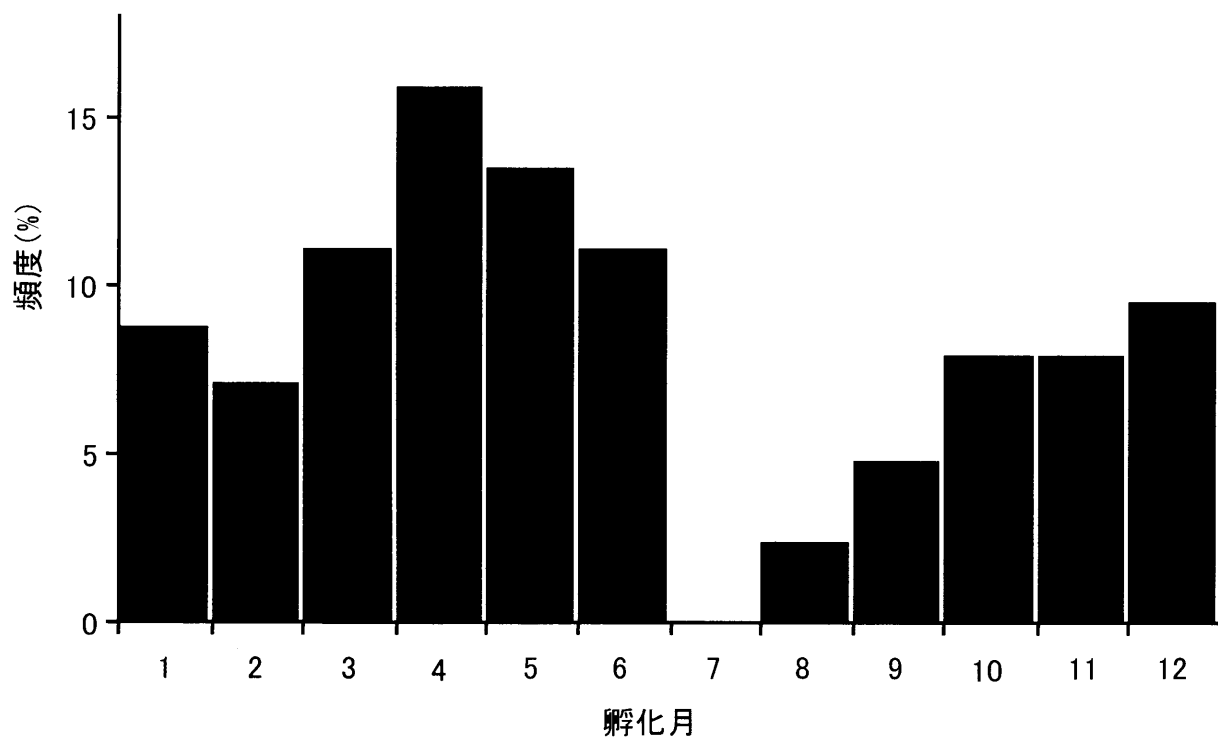


図5-8. 西部太平洋熱帯海域における熱帯滞留群(N=129)の孵化月の頻度分布.



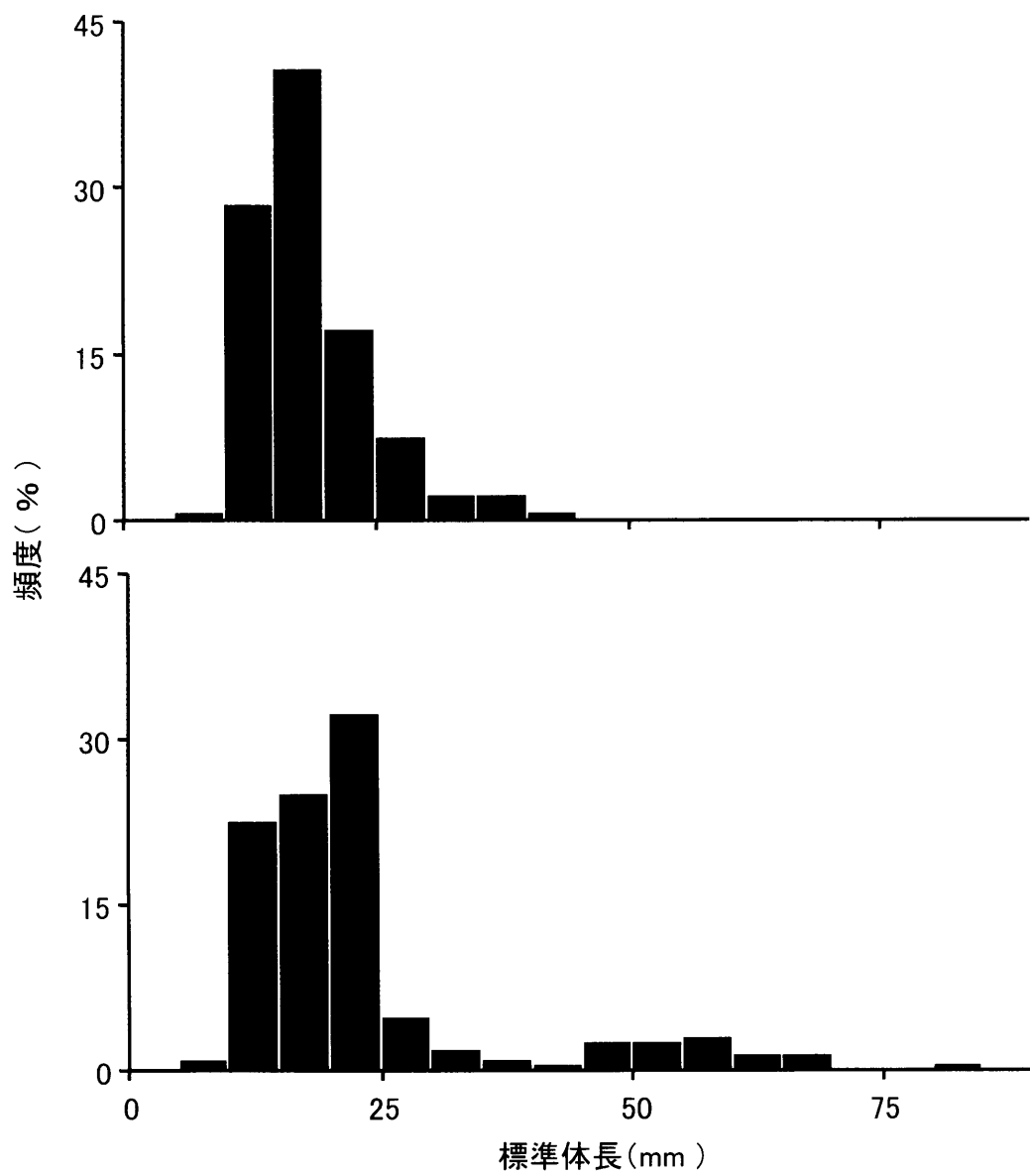


図5-9. 北赤道海流域(上,  $N=133$ )と赤道反流域(下,  $N=208$ )で採集されたカツオ仔魚～若魚の体長組成.

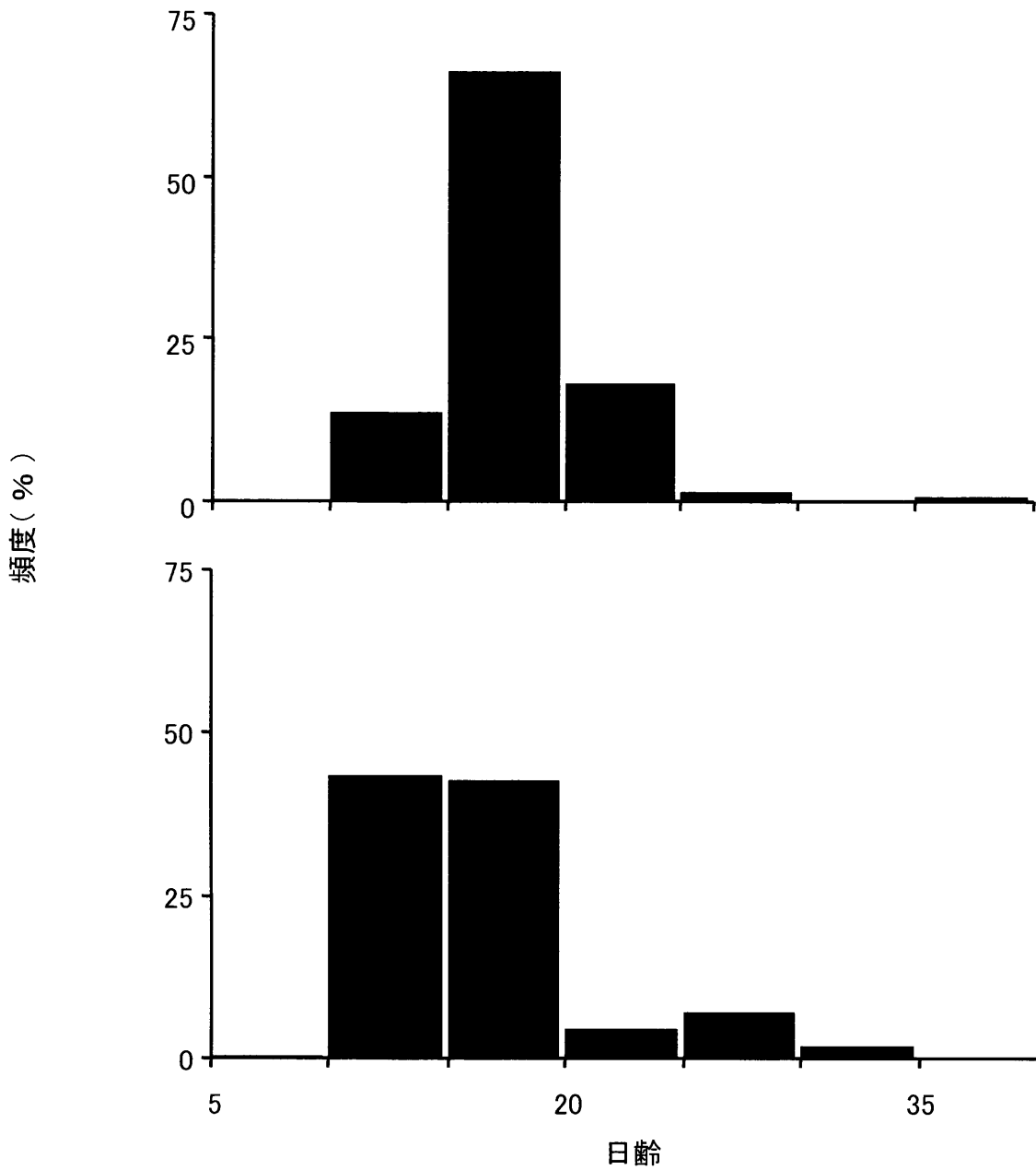


図5-10. 北赤道海流域(上,  $N=133$ )と赤道反流域(下,  $N=208$ )で採集されたカツオ仔魚～若魚の日齢組成.

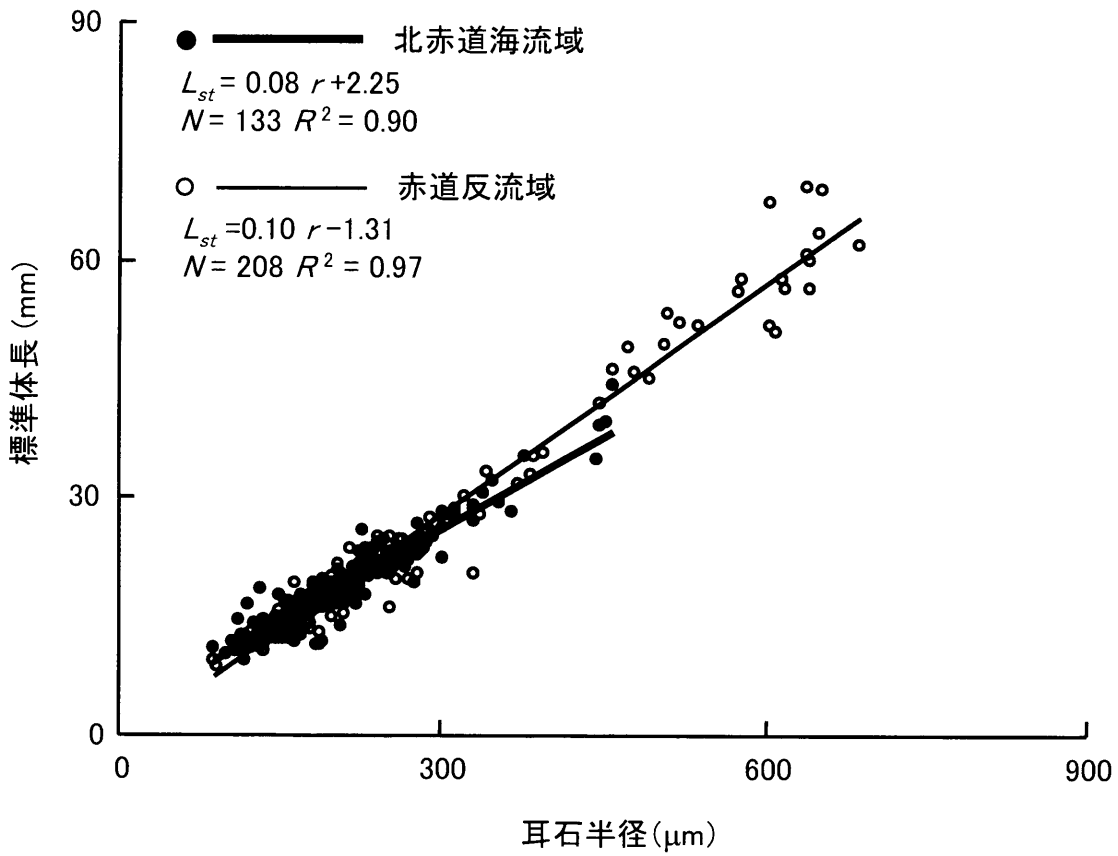


図5-11. 北赤道海流域と赤道反流域で採集され、耳石日輪半径を推定したカツオ仔稚魚の耳石半径 ( $r$ ) と標準体長 ( $L_{st}$ ) の関係.

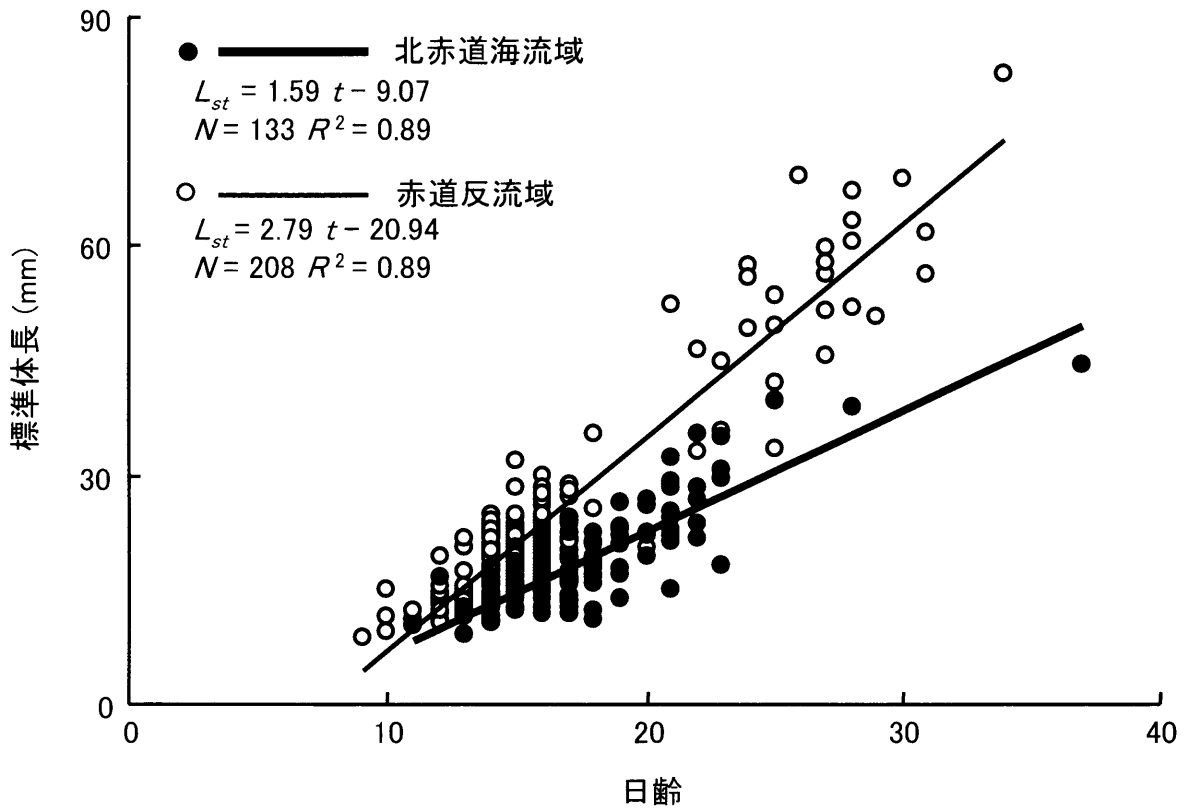


図5-12. 北赤道海流域と赤道反流域で採集されたカツオ仔稚魚の日齢 ( $t$ ) と標準体長 ( $L_{st}$ ) の関係.

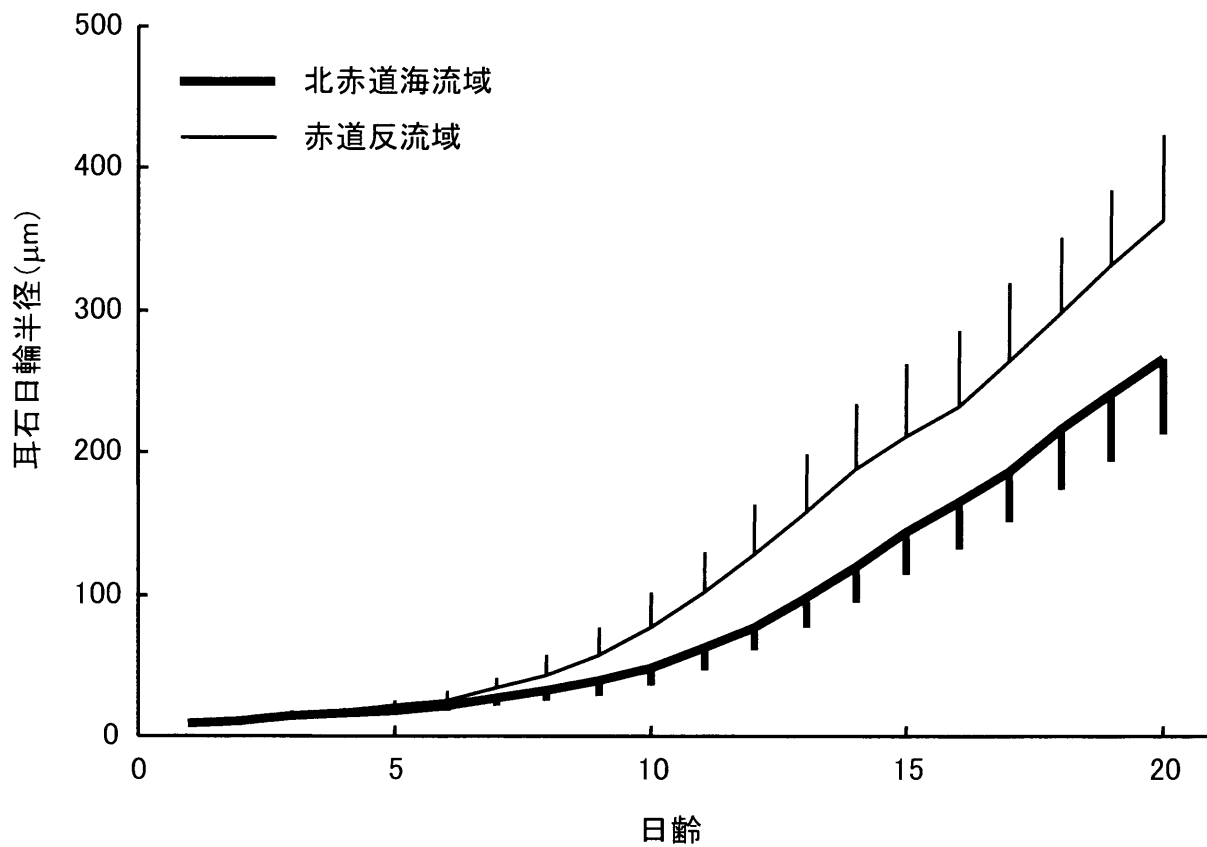


図5-13. 北赤道海流域と赤道反流域で採集されたカツオ仔稚魚の耳石日輪半径の変化. 縦棒は標準偏差.

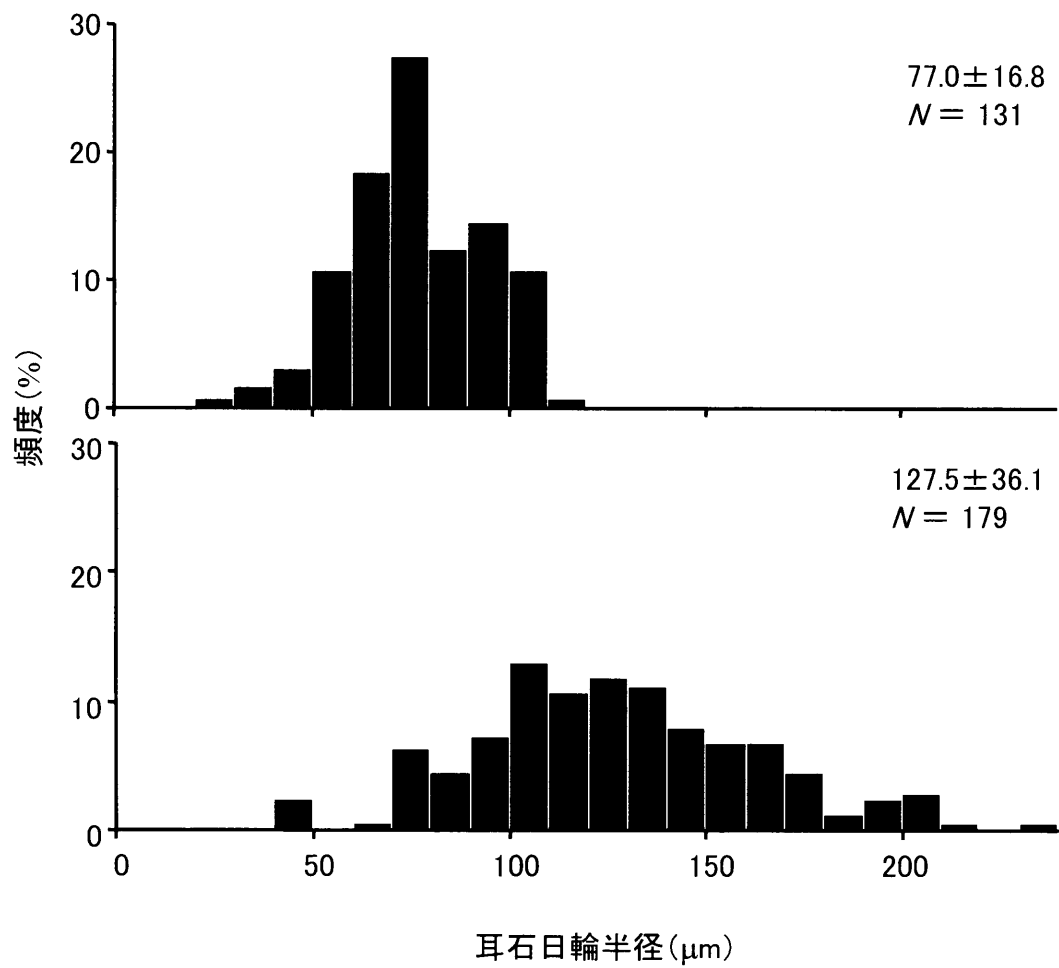


図5-14. 北赤道海流域(上)と赤道反流域(下)で採集されたカツオ仔稚魚の12日齢時における耳石日輪半径の頻度分布.

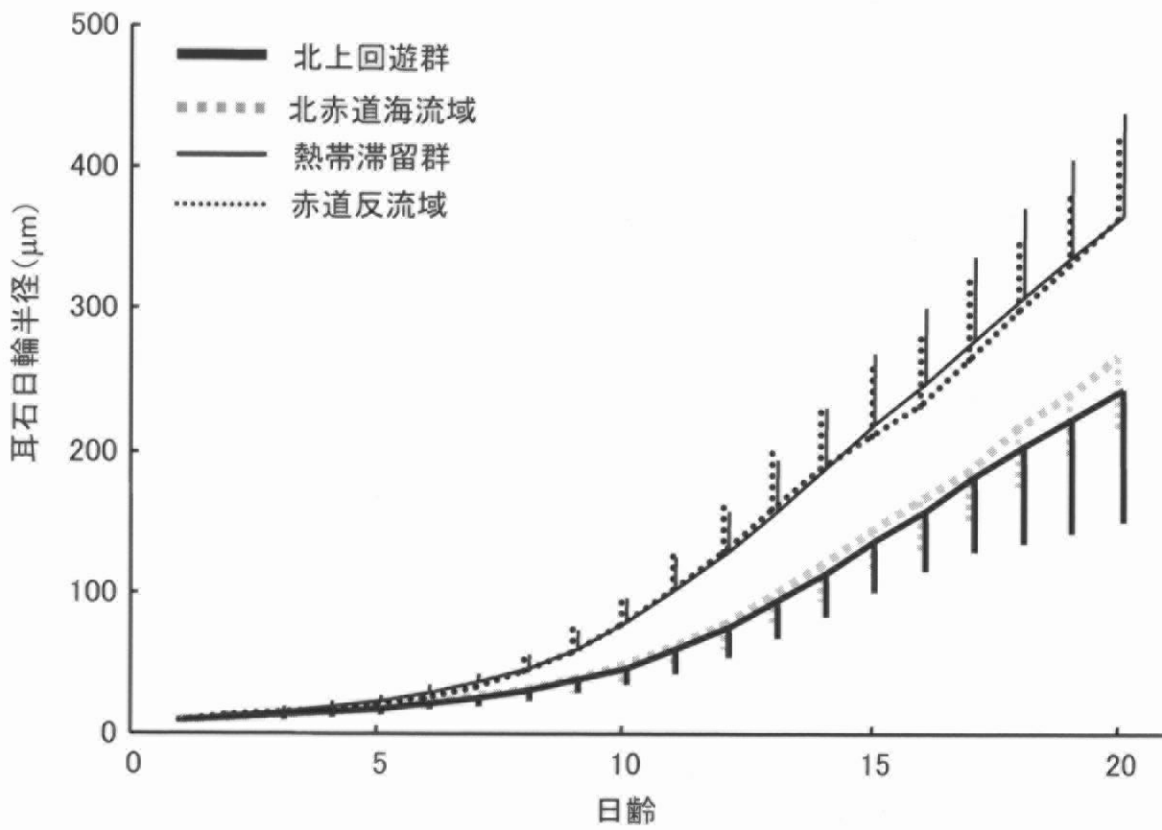


図5-15. 産卵場で採集されたカツオ仔稚魚と北上回遊群および熱帯滞留群との耳石日輪半径の対応. 縦棒は標準偏差.

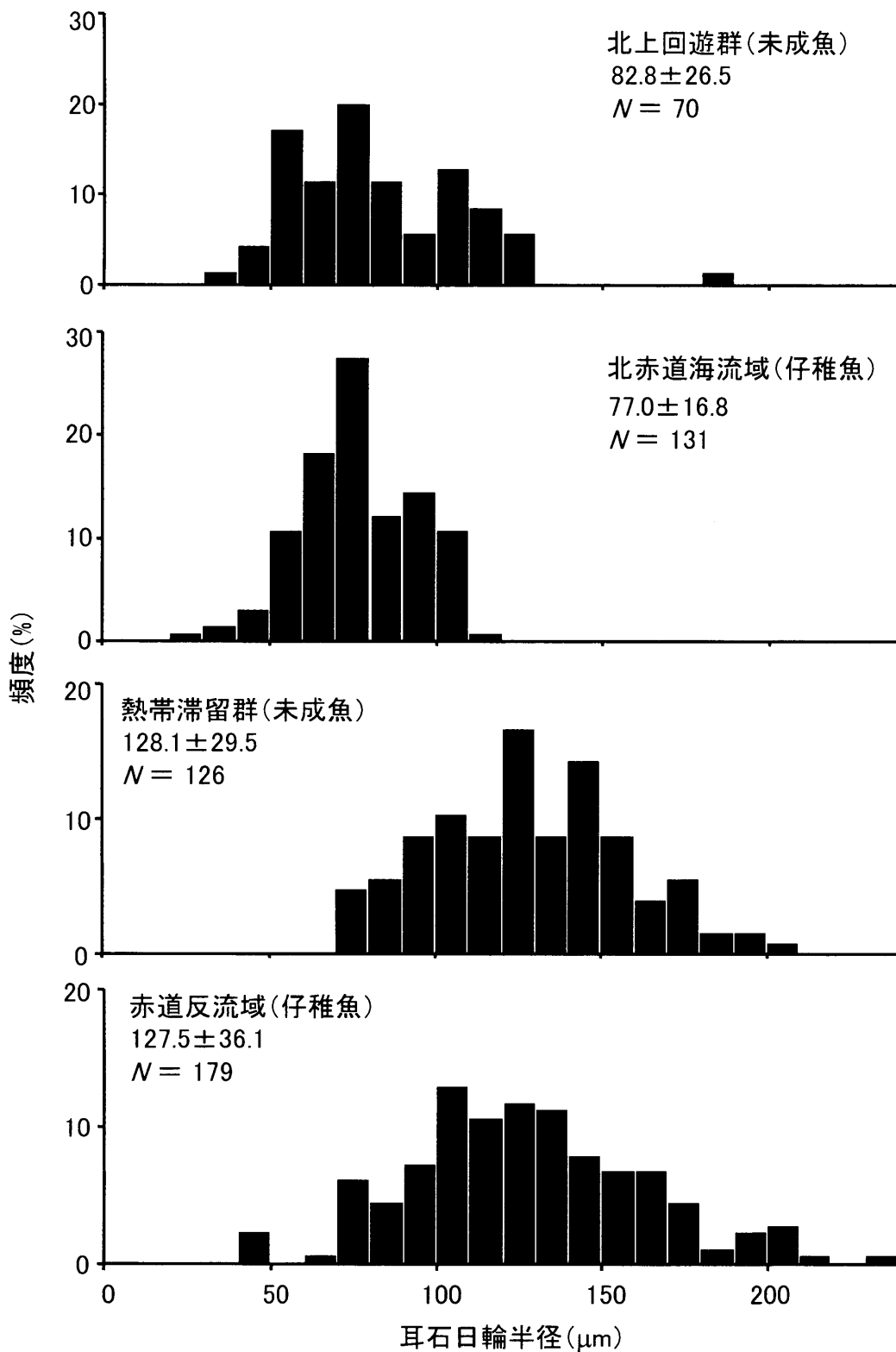


図5-16. 産卵場で採集されたカツオ仔稚魚と北上回遊群および熱帯滞留群の12日齢時における耳石日輪半径.



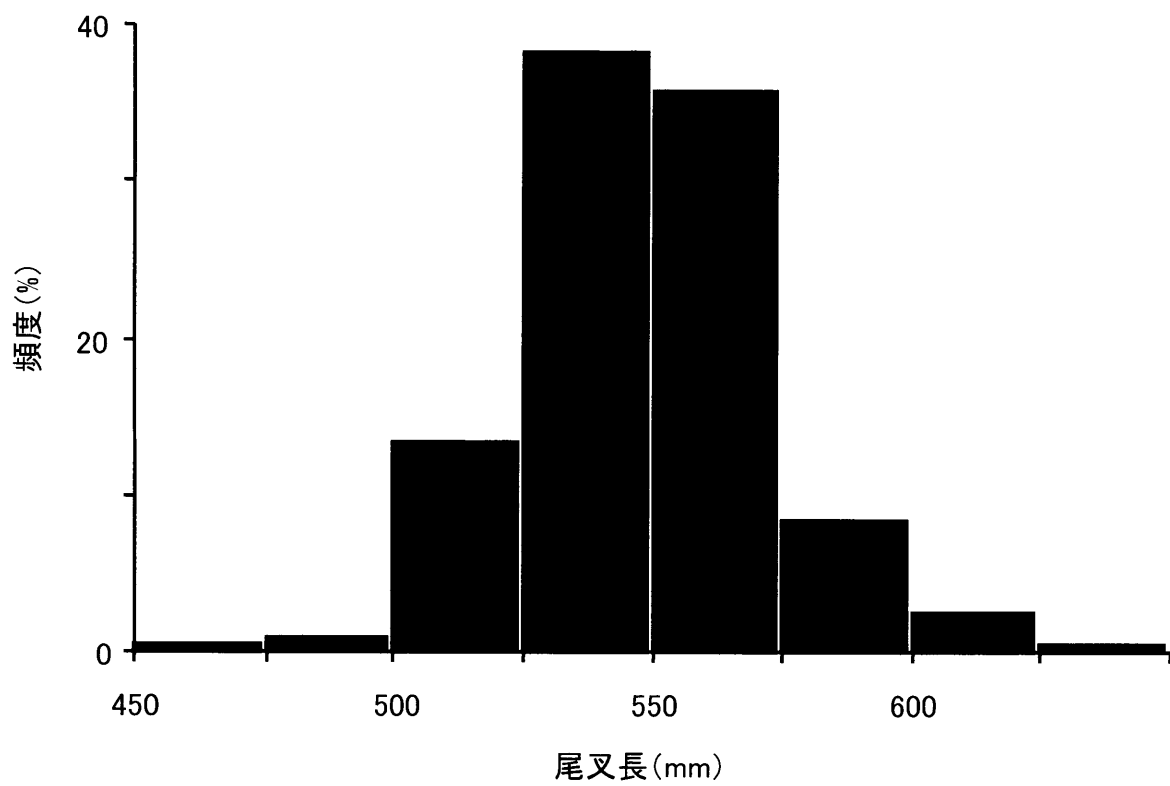


図5-17. 赤道海域で漁獲されたカツオ成魚 ( $N = 204$ ) の尾叉長の頻度分布.

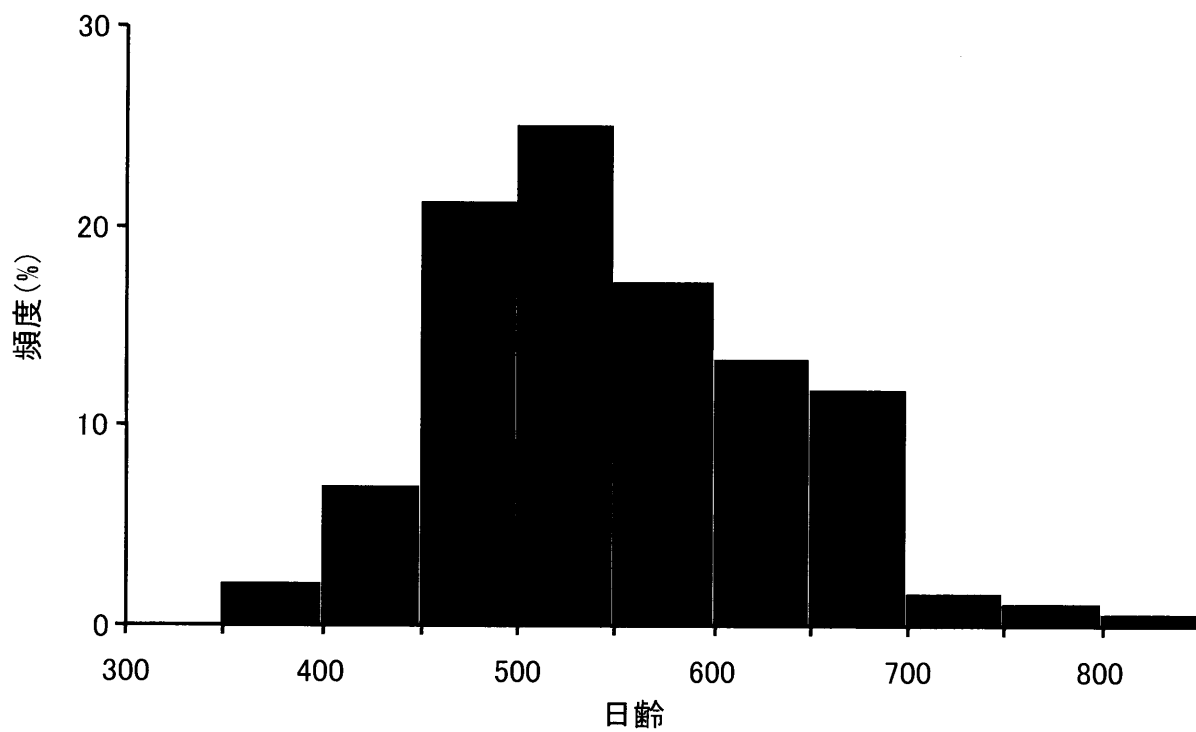


図5-18. 赤道海域で漁獲されたカツオ成魚 ( $N = 204$ ) の日齢の頻度分布.

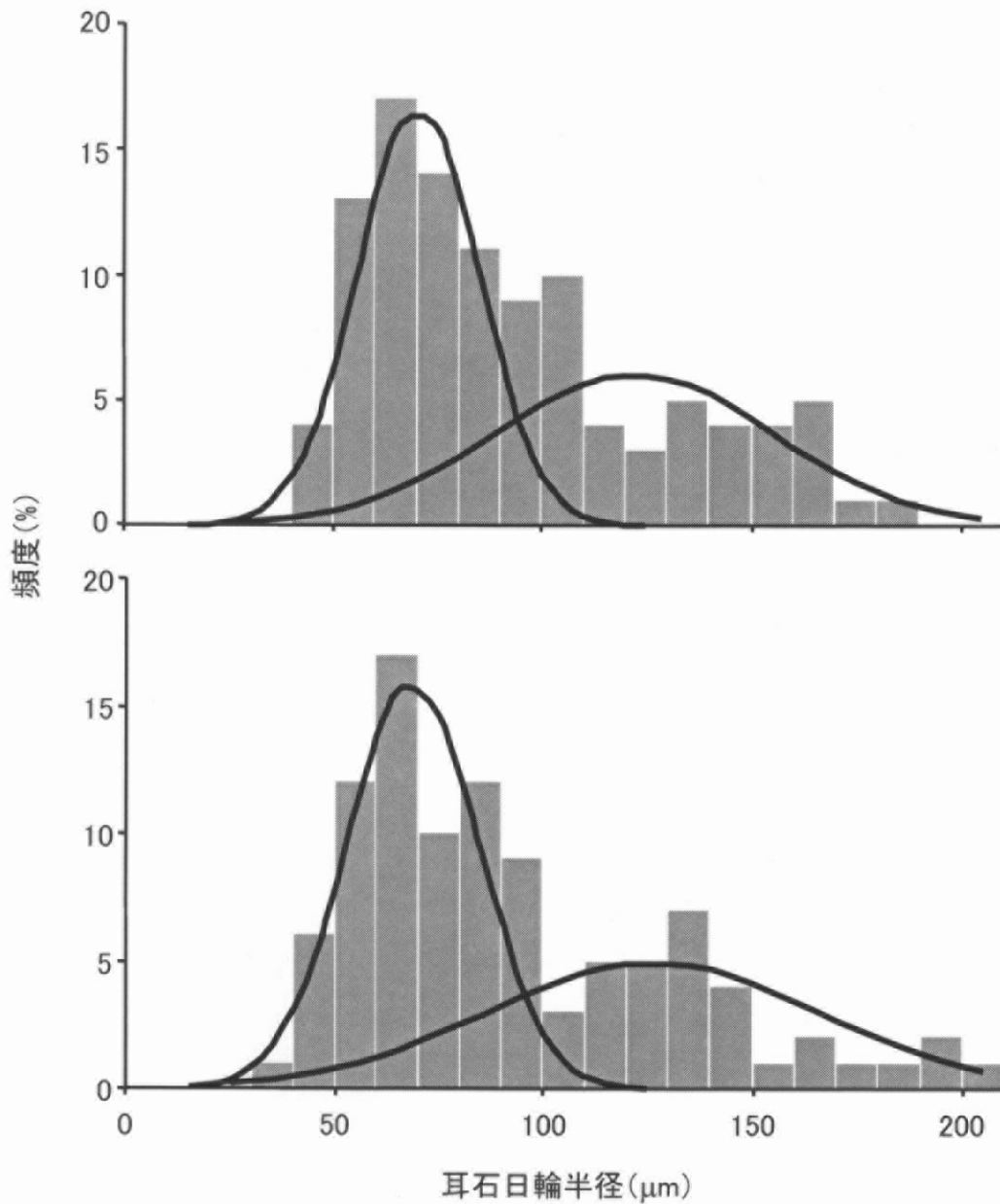


図5-19. 赤道海域で漁獲された成魚の1~6月(上,  $N=105$ )と7~12月(下,  $N=99$ )孵化群の12日齢時における耳石日輪半径の頻度分布.

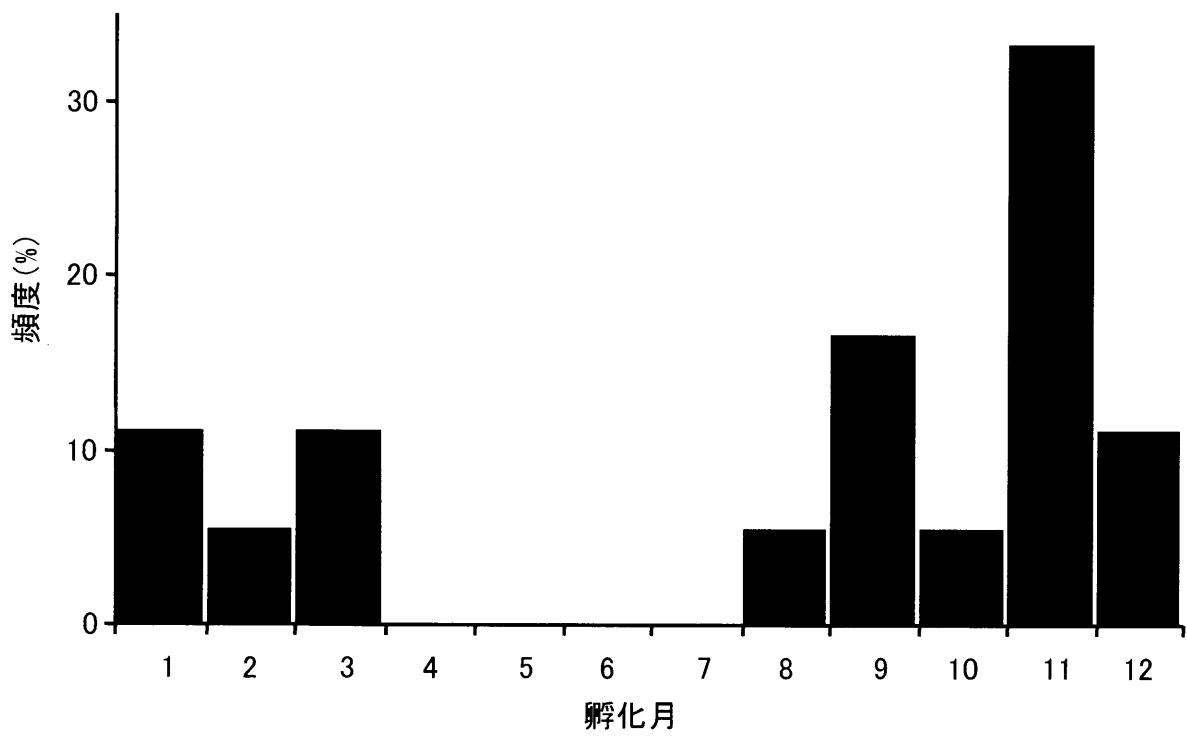


図5-20. オセアニア温帯海域で漁獲されたカツオ成魚 ( $N=18$ ) の孵化月の頻度分布.

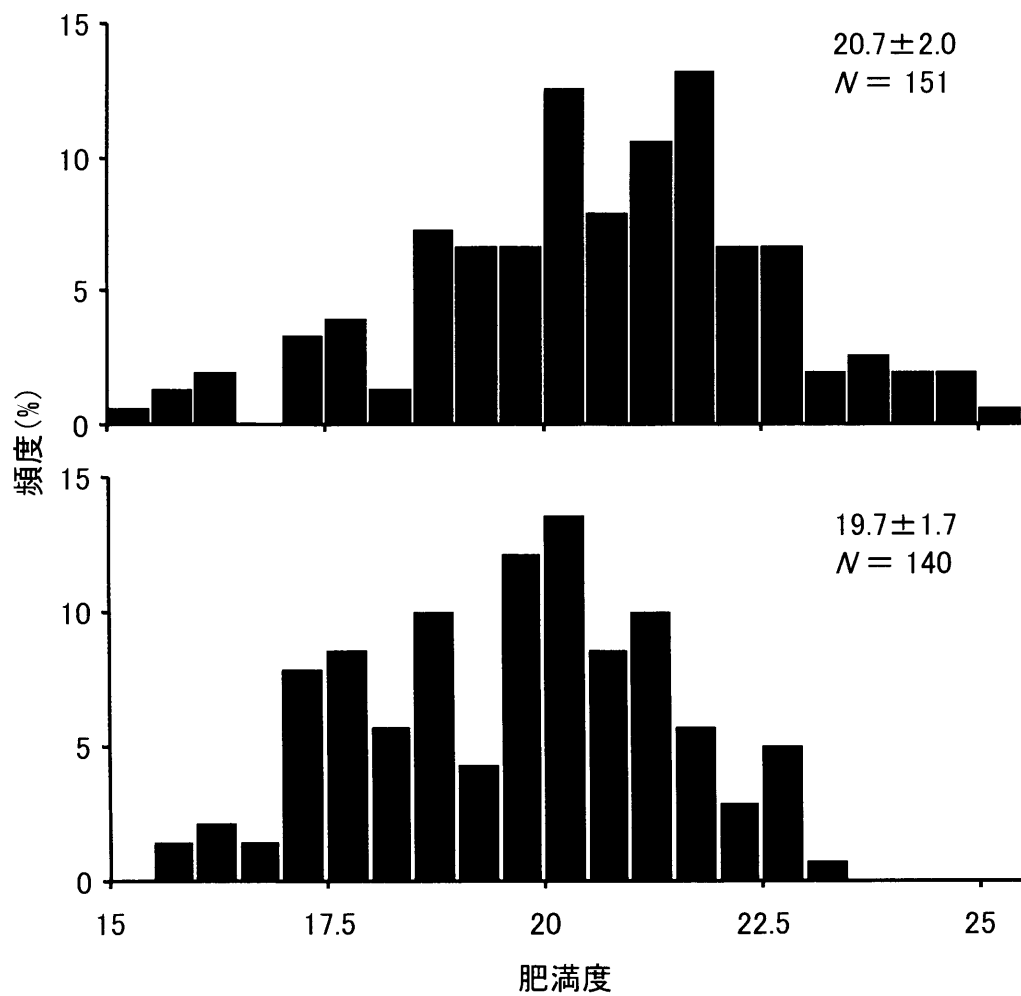


図5-21. 400~450 mm FLの北上回遊群(上)と熱帯滞留群(下)の肥満度の頻度分布.

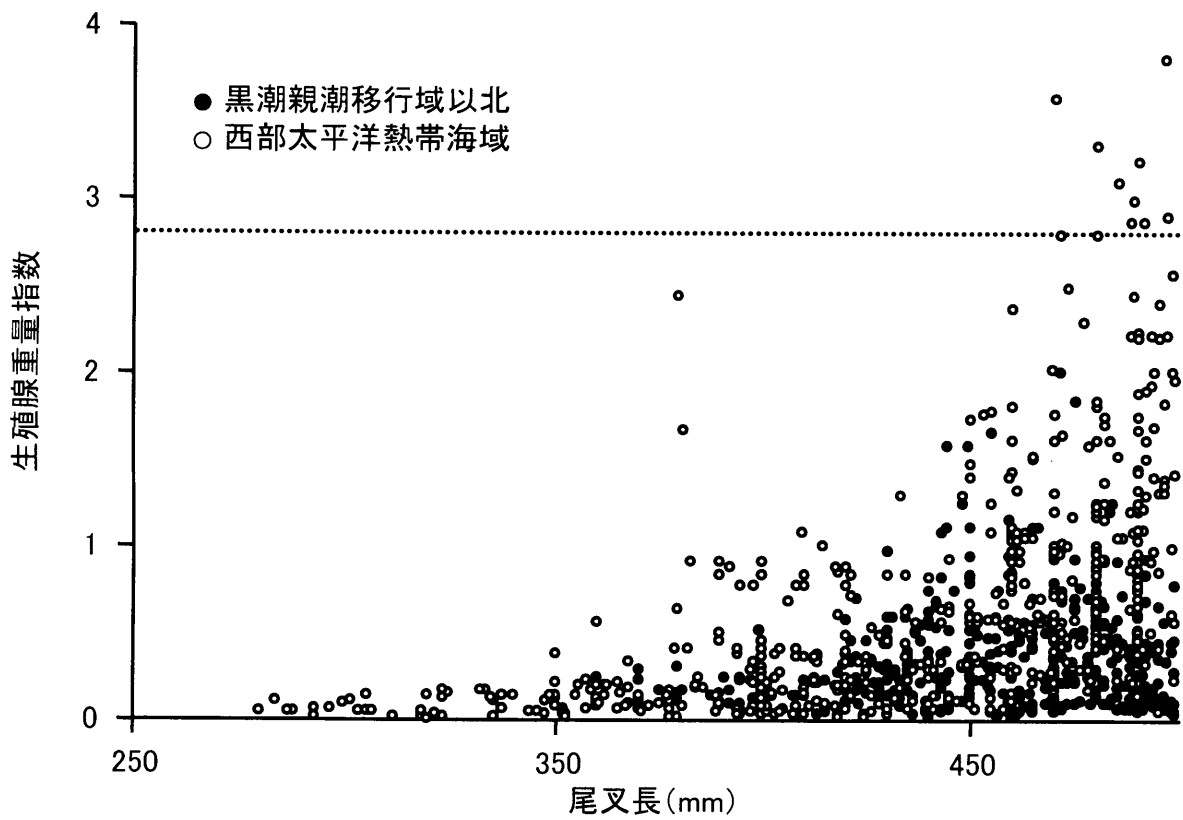


図5-22. 黒潮親潮移行域以北と西部太平洋熱帯海域で漁獲されたカツオの尾叉長と生殖腺重量指数の関係.  
..... : GSI 2.8.

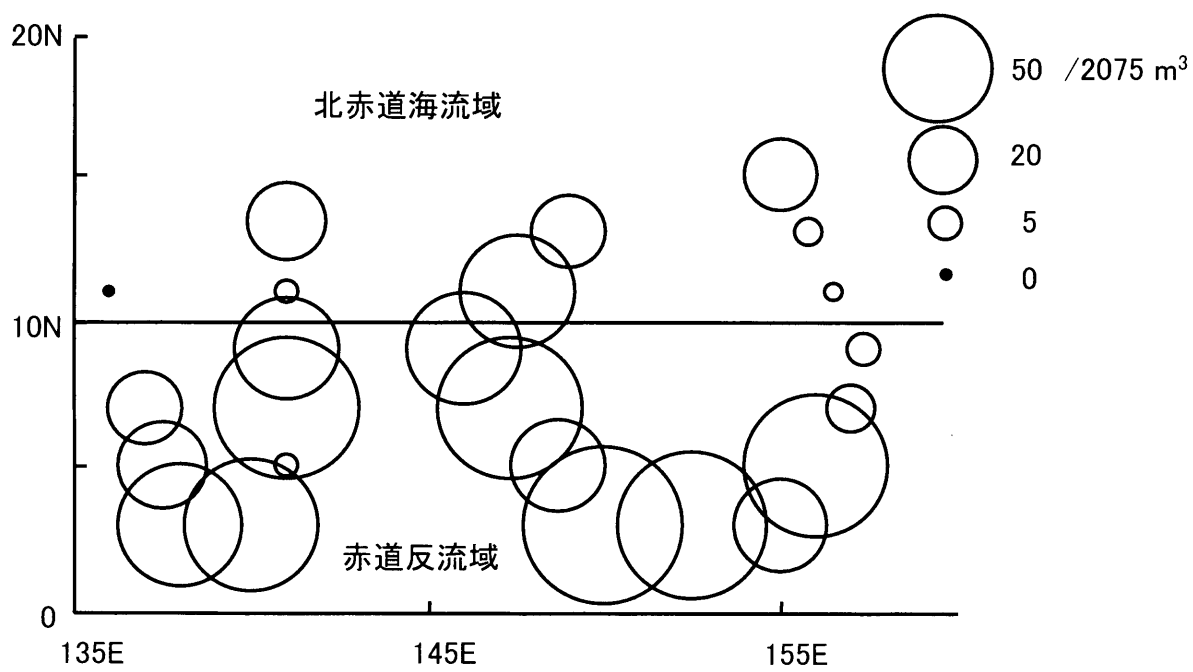


図5-23. 西部太平洋熱帯海域における仔魚の分布密度.  
(田邊 2002より改変)

## 第6章 総合考察

### 1. 西部太平洋における北上（南下）回遊群と熱帯滞留群

西部太平洋のカツオ個体群内には、成長履歴が異なる北上回遊群と熱帯滞留群が存在することが明らかとなった。熱帯滞留群は、孵化後産卵場である熱帯海域に留まり、1歳前後で約450 mm FLに成長して産卵に加入する。これに対して北上回遊群は、稚魚・幼魚期に北上回遊する。仔稚魚期の成長速度は熱帯滞留群より遅いが、幼魚期に入ると日本周辺海域の高い生物生産力を利用して熱帯滞留群より速く成長し、より大きい体長と肥満度を獲得して、1.5歳以上で熱帯海域に戻って産卵に加入すると考えられた。南半球においてもオセアニア温帯海域へ南下回遊する群の存在が示唆されたことから、低緯度から中高緯度へのカツオの回遊群が、西部太平洋の赤道を挟んで南北両半球に存在すると考えられる。キハダやメバチも熱帯海域を分布の中心としつつ、一部が温帯海域まで回遊することが知られている(宮部 2005a, b)。しかし、マグロ族魚類の中で、1個体群内に回遊生態が異なる2群が存在することが明らかにされたのは、本研究によるカツオが初めてである。

本研究で示したように、北赤道海流域で生まれた個体が北上回遊群を構成し、赤道反流域で生まれた個体が熱帯滞留群を構成するが、標識放流の結果は、北上回遊群と熱帯滞留群がよく混合していることを示しており(Langley *et al.* 2003)、両群が系群として独立しているとは考えられない。表面水温25°C以上という広い産卵場を利用する結果、西部太平洋のカツオ資源では、当歳魚の一部が北上回遊し、1.5歳を超えて熱帯海域に戻ると熱帯滞留群と混合して産卵親魚群を構成するという資源構造を持つと考えられる。

2002～2003年に漁獲された標本では、熱帯海域の成魚群の半数以上が北上(南下)回遊群によって占められると推定された。北上回遊群は同年齢の熱帯滞留群より尾叉長と肥満度が大きい。したがって、親魚資源重量に換算すると北上回遊群は熱帯滞留群より有意に大きな割合を占めると考えられる。熱帯海域におけるカツオ漁獲物の多くは500～700 mm FLの個体で占められ、800 mm FLを超える個体はまれである(田中 1989)。カツオは1～2歳で初回成熟し、その後、



1～2年間産卵した後に資源から姿を消すと考えられ、他のマグロ類が10年間前後にわたって産卵を継続するのに比べると寿命が短い。初回成熟時の体長と体重が大きいことは、北上回遊群の初回成熟時における1尾あたりの産卵数が多くなるだけでなく、生涯産卵数としても熱帯滞留群よりかなり多くなると考えられる。資源の現存量と再生産についても、北上（南下）回遊群は西部太平洋のカツオ資源において主要な位置を占めていると判断される。

## 2. 西部太平洋におけるカツオの生活史特性

西部北太平洋における表層回遊性の魚類には、春から夏に北上して温帯海域北部から亜寒帯海域南部の高い生物生産力を利用する種が多い。マイワシやマサバは、冬～春季に西日本～東日本の太平洋岸で産卵し、黒潮とその下流の黒潮続流によって仔稚魚が房総半島沖まで運ばれた後に、稚魚群として黒潮親潮移行域北部～親潮域南部まで索餌回遊する（Watanabe 2002, Watanabe and Yatsu 2004）。サンマは冬に黒潮域で、春と秋に黒潮親潮移行域で生まれ、夏には千島列島中部の親潮域まで北上回遊して索餌する（福島 1979）。黒潮親潮移行域から親潮域の生物生産に依存して資源量を形成するこれらの種では、年々の加入量が1～2桁の幅で大きく変動するのが一般的である（Watanabe *et al.* 1995, Watanabe *et al.* 2003, Watanabe and Yatsu 2004）。加入量変動が大きいことに対応して資源量変動も大きく、たとえばマイワシ太平洋系群では1987年に約200万トンのピークに達した後、2002年には12万トンへ激減した（石田ら 2004）。これに対して、西日本の沿岸域から東シナ海、南シナ海北部を分布域とするウルメイワシ *Etrumeus teres* の資源量変動幅は小さく、1950年以降の西日本沖合海域における漁獲量は2.5～6.5万トンの水準で安定している（農林水産省農林経済局統計情報部 1963-2003）。

西部太平洋のカツオ資源の中で、北上回遊群の生活史特性は、黒潮親潮移行域から亜寒帯南部の生物生産力を利用して個体の生物量を増大させた後に南下回遊して再生産に加入する点で、マイワシに類似している。熱帯滞留群が低緯度水域に留まって個体としての生物量が比較的小さい段階で再生産に加入する点は、マイワシより若齢で再生産に加入するウルメイワシに類似している。このように考えると、西部太平洋のカツオ資源は、マイワシとウルメイワシとい

うニシン科魚類内で異なる再生産戦略をもつ2種に類似した再生産特性をもつ2群からなることになる。

1 個体群内に北上（南下）回遊群と熱帯滞留群が存在することは、再生産戦略としてどのように理解されるであろうか。カツオ個体群は、西部太平洋熱帯海域の親魚から産み出される仔魚すべてを産卵場に収容するのではなく、50%を超える仔魚を北上（南下）回遊群として温帯海域～亜寒帯域南（北）部の生産力で成長させる。それらが成魚として産卵場へ戻ることで、キハダ 160 万トン（Hampton and Kleiber 2003）、メバチ 20～30 万トン（Hampton *et al.* 2003）、クロマグロ親魚量 1.5～6 万トン（山田・高橋 2005）など他のマグロ類に比べて圧倒的に高い 700 万トンという資源量（Langley *et al.* 2003）の形成に成功している。

本研究では、北上（南下）回遊群のカツオ資源全体に占める個体数比率が 5 割を超えると推定されたが、カツオ個体群内における北上（南下）回遊群の構成比率が経年的にどのように変動するかは興味ある研究課題である。マグロ類の中で、西部太平洋亜熱帯海域で再生産して温帯海域～亜寒帯南部へ回遊するクロマグロでは卓越年級群の発生が見られ（山田・高橋 2005）、キハダやメバチなどの熱帯マグロと比較するとその資源量が大きく変動する。クロマグロに類似した回遊生態を持つカツオ北上回遊群では加入量変動が大きく、熱帯滞留群では熱帯マグロのように加入量が比較的安定していると推測される。北上回遊群の資源量水準が高い年代には、それらが産卵場へ南下すると親魚資源量は大きくなる。マイワシ太平洋系群の産卵場面積が、親魚資源量の増大にともなって産卵場の縁辺に向かって約 2 倍に拡大したように（Watanabe *et al.* 1996, Watanabe *et al.* 1997）、カツオにおいても親魚資源量が増大すると産卵場が南北方向に拡大すると考えられる。産卵場の拡大は北（南）赤道海流域で生まれる仔魚を増大させ、北上（南下）回遊群の構成比率を高める。より多くの個体が温帯海域～亜寒帯南部の生産力を利用する結果、さらに資源量を増大させることが可能になる。反対に北上（南下）回遊群の加入量水準が低くなると、親魚資源量は低水準となり、産卵場が低緯度海域に向かって収縮して熱帯滞留群の割合が増加すると思われる。その結果、カツオ資源量は比較的 low 水準ながら安定するであろう。

北上（南下）回遊群の加入量水準が高いと産卵場における親魚密度が高くな

ることも考えられる。その結果、親魚の栄養状態が低下すると、体重あたりの産卵数は小さくなるかもしれない。北上（南下）回遊群の加入量水準が低い場合には、親魚密度が低くなるために親魚の栄養状態が高くなって、体重あたりの産卵数が増加する可能性がある。

以上のように、カツオ個体群内において北上（南下）回遊群と熱帯滞留群が併存することが、中高緯度水域の生物生産力を利用して高水準の資源の形成を可能にする一方で、産卵場における密度依存的過程によって資源量を安定化させるしくみとして機能していると考えられる。

### 3. カツオの資源評価

本研究による耳石日輪解析によって、太平洋各海域のカツオは1歳で400~500 mm FL に成長することがわかった。中西部太平洋におけるカツオの資源評価は、漁獲量、漁獲努力量、漁獲物体長組成、標識放流結果などを統合的に用いるMULTIFAN-CLによって行われている（Langley *et al.* 2003）。このモデルでは、生物学的パラメータとしてすでに本研究結果と近似する1歳時体長を用いており、信頼性の高い評価が行われているものと考えられる。

西部太平洋のカツオ資源は熱帯滞留群と北上（南下）回遊群によって構成され、両群の生活史パラメータがかなり異なることがわかった。当歳魚の成長様式が異なり、初回成熟時の年齢と1個体あたりの体重や産卵数にかなりの差があると考えられることから、カツオの資源評価や再生産関係の検討では、親魚資源量を2群に分けて推定する必要があると考えられる。また、北上（南下）回遊群と熱帯滞留群の構成比率が経年的に変動する可能性、構成比率の変動がカツオの再生産関係を変える可能性についても考慮すべきである。

従来、日本周辺海域に来遊するカツオ資源量が、西部太平洋熱帯海域の資源量のどれほどの割合に当たるのか知見がなかった。本研究で、西部太平洋におけるカツオ産卵場の中心域における成魚の半数以上が北上回遊群によって占められることがわかった。第5章で記述したように、12日齢時の耳石日輪半径から北上回遊群と熱帯滞留群のおよその割合を区分できるので、年々の産卵場における成魚漁獲物から2群の構成比率を求めることは困難ではない。日本周辺海域の漁獲データから北上回遊群当歳魚の資源尾数推定値が得られると、北上

回遊群：熱帯滞留群比のデータを用いて、西部太平洋熱帯海域のカツオ資源量推定が可能になるかもしれない。また、北上回遊群の比率がレジームシフトやエルニーニョなどに関連して数年から数十年の周期で変動する場合には、ある年の熱帯海域における親魚資源量とその年代の北上回遊群の構成比から、日本周辺海域に来遊するカツオ当歳魚資源量を予測できる可能性がある。

最近20年間のカツオの新規加入尾数は60億尾以上で安定しており(Langley *et al.* 2003)、カツオ資源は比較的高水準にある(Langley *et al.* 2003)。しかし、1980年以前のように加入量が50億尾を下回ると、漁獲制限も考えなければならなくなる(小倉 2005)。本研究で明らかにした西部太平洋におけるカツオの資源構造と生活史特性に関する新しい知見が、今後の資源評価の枠組みとして生かされる必要がある。

## 要 約

カツオ *Katsuwonus pelamis* の仔魚 (<10 mm FL)、稚魚 (10~100 mm FL)、幼魚 (100~250 mm FL)、未成魚 (250~450 mm FL) および成魚 (450 mm FL $\leq$ ) について、耳石による日齢査定法を確立し、それを用いて太平洋各海域におけるカツオの成長過程と、西部太平洋におけるカツオ当歳魚の回遊生態を解明した。

1. 8 mm FL 以下の仔魚では耳石を樹脂に封入する方法、8~61 mm FL の仔稚魚では耳石の両面を研磨する方法、61 mm FL 以上の稚魚から成魚では耳石の扁平面を塩酸により腐食させる方法によって、それぞれの耳石の微細輪紋を光学顕微鏡下で明瞭に観察できた。幼魚~成魚の耳石には、耳石中心域に間隔 1~4  $\mu\text{m}$  の、その外側の中間域に間隔 15~40  $\mu\text{m}$  の、中間域の外側の縁辺域に間隔 1~3  $\mu\text{m}$  の微細輪紋が観察できた。幼魚と未成魚にオキシテトラサイクリンを注射して飼育した結果、耳石縁辺域に見られる間隔 1~3  $\mu\text{m}$  の微細輪紋が日輪であることがわかり、既に日周性が確認されている中心域、中間域とあわせて、カツオ仔魚~未成魚の日齢査定が可能になった。また、本研究では成魚の耳石縁辺域にも未成魚の日輪と類似した構造の微細輪紋が観察されたので、これを日輪と考え日齢査定した。
2. 日本周辺海域、西部太平洋熱帯海域、オセアニア周辺海域、東部太平洋熱帯海域で採集された稚魚から成魚の耳石日輪を解析した結果、いずれの海域においても1歳時の尾叉長は400~500 mm FLに達することがわかった。また、耳石半径と尾叉長の関係はアロメトリー式で表され、日輪間隔が成長速度の指標となることがわかった。
3. 熱帯海域で孵化して、北西太平洋中・高緯度海域へ回遊する北上回遊群と孵化後も熱帯海域に留まる熱帯滞留群の未成魚について、北上回遊群の成長速度は仔魚期~幼魚期では熱帯滞留群より低い、60日齢前後から北上回遊群が熱帯滞留群を上回ると考えられた。

4. 20日齢までの日輪半径の増加過程は、北上回遊群が北赤道海流域の産卵場で採集された仔稚魚と、熱帯滞留群が赤道反流域の産卵場で採集された仔稚魚とほぼ一致した。したがって、北上回遊群は主として北赤道海流域で発生し、北赤道海流と黒潮に乗って日本周辺海域に来遊する群、熱帯滞留群は赤道反流域で発生後、熱帯海域に留まった群であると判断された。当歳魚の孵化月の分布から、北上回遊群の発生時期は主として3～5月、熱帯滞留群の発生時期は9～6月であることがわかった。
5. 赤道海域のカツオ産卵場で漁獲された成魚のうち、1～6月に孵化した群の12日齢時の日輪半径頻度分布は双峰型を示し、半径が小さい側のコホートの平均値が北上回遊群および北赤道海流域で採集された仔稚魚の平均値と、半径が大きい側のコホートの平均値が熱帯滞留群および赤道半流域で採集された仔稚魚の平均値と類似した。これらの対応関係は、北赤道海流域で発生した仔稚魚が北上回遊群として日本周辺海域へ来遊した後に赤道海域へ戻り、熱帯滞留群とともに産卵親魚群を構成していることを示している。北上回遊群と考えられる日輪半径の小さい側のコホートに含まれた個体数は全体の55%であったことから、産卵親魚中に占める北上回遊群の割合は熱帯滞留群により大きいと考えられた。
6. 黒潮親潮移行域で漁獲された北上回遊群未成魚の肥満度は、西部太平洋熱帯海域で漁獲された熱帯滞留群より高かった。黒潮親潮移行域で漁獲された成魚はすべて未成熟であったのに対し、熱帯海域で採集された470 mm FL以上の成魚では $GSI \geq 2.8$ の成熟魚が見出された。黒潮親潮移行域の基礎生産力が西部太平洋熱帯海域より高いこと、黒潮親潮移行域の低水温がカツオの成熟を抑制することによって、北上回遊群は成魚に達しても成熟にエネルギーを配分することなく体成長を続けると考えられた。
7. 西部太平洋のカツオ資源は、熱帯海域で親魚から産み出される仔魚すべてを産卵場に収容するのではなく、熱帯海域で発生した仔魚のうち50%を超える群を北上（南下）回遊群として温帯海域～亜寒帯域南部の生産力で成長させ

る。それが成魚として産卵場へ戻ることで、他のマグロ類に比べてはるかに高い700万トンという資源量の形成に成功していると考えられる。

8. 北上（南下）回遊群と熱帯滞留群では当歳魚の成長様式が異なり、初回成熟年齢と1個体あたりの体重や産卵数に差があると考えられることから、カツオの資源評価や再生産関係の検討では、親魚資源量を2群に分けて推定する必要がある。本研究で明らかになったカツオの資源構造と生活史特性に関する新しい知見が、今後の資源評価の枠組みとして生かされる必要がある。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたりご指導とご鞭撻をいただいた東京大学海洋研究所資源生態分野 渡邊良朗教授に謹んで感謝の意を表す。また、同資源生態分野河村知彦助教授にはご指導、ご助言、激励をいただくとともに本稿をご校閲いただいた。東京大学大学院農学生命科学研究科の青木一郎教授、東京大学海洋研究所の白木原國雄教授、大竹二雄教授、には、有益なご助言をいただき本稿をご校閲いただいた。水産総合研究センター遠洋水産研究所 小倉未基博士、田邊智唯博士には、研究の発端から多大なご指導、ご鞭撻、ご支援をいただいた。

水産総合研究センター遠洋水産研究所 山田陽己氏、魚崎浩二氏、高橋未緒氏、鹿児島県水産技術開発センター 奥原誠氏、瀬戸内漁協 久野弘仁氏、和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場 竹内淳一氏、三重県科学技術振興センター水産研究部 山川卓博士（現東京大学大学院農学生命科学研究科助教授）、神奈川県水産総合研究所 加藤健太氏（現神奈川県庁）、福島県水産試験場 泉茂彦氏（現福島県水産種苗研究所）、株式会社阿部長商店 三浦良尚氏には、カツオの標本採集に援助をいただいた。水産総合研究センター遠洋水産研究所 宮部尚純氏には、西部太平洋熱帯海域においてまき網により漁獲されたカツオの標本データを提供していただいた。笠沙町漁協 坂上美和参事、鹿児島県水産技術開発センター調査船 是枝勝美漁労長、乗組員の方々には、飼育実験にご協力をいただくとともに飼育に関する有益なご助言をいただいた。

東海大学海洋学部 田中彰教授、茨城県内水面水産試験場 二平章博士、水産大学校 李雅利博士、京都府立海洋センター 白藤徳夫博士、スクリプス海洋研究所 高橋素光博士、水産総合研究センター八重山栽培漁業センター 千村昌之博士、東京大学海洋研究所 寺崎誠所長、塚本勝巳教授、木村伸吾助教授、渡邊俊博博士、北川貴士博士、篠田章博士、伊藤幸彦博士には、本研究を遂行するにあたり適切なご指摘と励ましをいただいた。

東京大学海洋研究所資源生態分野 猿渡敏郎博士、原政子博士、謝松光博士、深澤博達博士、畠山類氏を始めとする大学院学生各位には多大なご協力とご助言をいただいた。以上の方々に深く感謝する。



なお本研究の一部を日本学術振興会特別研究員奨励金の援助によって遂行した。

## 文献

- Adam MS, Stéquert B and Anderson RC (1995). Irregular microincrement deposition on the otoliths of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from the Maldives. IPTP Collective Vol 9: 239-244.
- 相川広秋 (1937). カツヲ群の一考察. 日水誌 6: 13-21.
- 相川広秋・加藤益夫 (1938). 魚類の年齢査定 (予報 1). 日水誌 7: 79-88.
- 相澤康・滝口直之 (1999). 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.
- Antoine LM, Mendoza JJ and Cayré (1983). Progress of age and growth assessment of Atlantic skipjack tuna, *Euthynnus pelamis*, from dorsal fin spines. In *Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks* (E. D. Prince, and L. M. Pulos, eds.), NOAA Tech Rep NMFS 8: 91-97.
- Antoine D, Andoré JM and Morel A (1996). Oceanic primary production. 2. Estimation at global scale from satellite (coastal zone color scanner) chlorophyll. *Global Biogeochem cycles* 10: 57-69.
- 青木光義 (1999). カツオ仔稚魚の食性. 東海大海洋研研報 20: 173-185.
- Arai T, Kotake A, Kayama S, Ogura M and Watanabe Y (2005). Movements and life history patterns of the skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the western Pacific, as revealed by otolith Sr:Ca ratios. *J Mar Bio Ass UK* 85: 1-6.
- 浅野政宏・田中有 (1971). 西部太平洋におけるカツオの成熟に関する研究-1. 東北水研研報 31:153-161.
- Batts BS (1972). Age and growth of the skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, (Linnaeus), in north Carolina waters. *Chasapeake Sci* 13: 237-244.
- Bayliff WH (1988). Growth of skipjack, *Katsuwonus pelamis*, and yellowfin, *Thunnus albacares*, tunas in the eastern Pacific Ocean, as estimated from tagging data. *Inter-Amer Trop Tuna Comm Bull* 19: 307-385.

- Bigelow KA, Nishimoto RNM, and Wetherall JA (1995). Bias in otolith age estimates of North Pacific albacore due to microscopy limitations. 14<sup>th</sup> North Pacific albacore Workshop NPALB14/11.
- Brock VE (1949). A preliminary report on *Parathunnus sibi* in Hawaiian waters and a key to the tunas and tuna-like fishes of Hawaii. *Pac Sci* 3: 271-277.
- Brock VE (1954). Some aspects of the biology of the aku, *Katsuwonus pelamis*, in the Hawaiian Islands *Pac Sci* 8: 94-104.
- Brothers EB, Prince ED, and Lee DW (1983). Age and growth of young-of-the-year bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) from otolith microstructure. *In Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks* (E. D. Prince, and L. M. Pulos, eds.), NOAA Tech Rep NMFS 8: 49-59.
- Buñag DM (1956). Spawning habits of some Philippine tuna based on diameter measurements of the ovarian ova. *Philipp J Fish* 4: 145-177.
- Butler JL (1987). Comparisons of the larval and juvenile growth and larval mortality rate of Pacific sardine and northern anchovy and implications for species interactions. Ph D thesis Univ California San Diego. pp. 242.
- Campana SE (1984). Microstructural growth patterns in the otoliths of larval and juvenile starry flounder, *Platichthys stellatus*. *Can J Zool* 47: 2219-2227.
- Chi KS and Yan RT (1973). Age and growth of skipjack tuna in the waters around the southern part of Taiwan. *Acta Oceanogr Taiwan* 3: 199-221.
- Chong TH, Nose Y and Hiyama Y (1965). Age determination and growth of yellowfin tuna *Thunnus albacares* Bonnterre by vertebrae. *Bull Japan Soc Sci Fish* 31: 414-422.
- Compeán-Jimenez G and Bard FX (1983). Growth increments on dorsal spines of eastern Atlantic bluefin tuna, *Thunnus thynnus*, and their possible relation to migration patterns. *In Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks* (E. D. Prince, and L. M. Pulos, eds.), NOAA Tech Rep NMFS 8: 105-110.
- Dragovich A (1970). The food of skipjack and yellowfin tunas in the Atlantic Ocean.

- Fish Bull US 68: 445-460.
- Dragovich A and Potthoff T (1972). Comparative study of food of skipjack and yellowfin tunas off the coast of west Africa. Fish Bull US 70: 1087-1110.
- Fitch JE and Craing WL (1964). First records for the bigeye thresher *Alopias superciliosus* and slender tuna *Allothunnus fallai* from California, with notes on eastern Pacific scombrid otoliths. Calif Fish Game 50: 195-206.
- Food and Agriculture Organization (2004). FAO Yearbook, Fishery statistics, capture production. 94: 227-230.
- 福島信一 (1979). 北西太平洋系サンマの回遊機構の綜観的解析. 東北水研研報 41. 1-70.
- Hampton J (2000). Natural mortality rates in tropical tunas: size really dose matter. Can J Fish Aquat Sci 57: 1002-1010.
- Hampton J, Lewis A and Williams P (2002). The western and central Pacific tuna fishery: 2000 Overview and status of stocks. Tuna Fisheries Assessment Report No. 3. Secretariat of the Pacific Commission. Noumes. 43 pp.
- Hampton J and Kleiber P (2003). Stock assessment of yellowfin tuna in the western and central Pacific Ocean. SCTB16 Working Paper YFT-1. 64 pp.
- 堀田秀行 (1953). 薩南海域の幼魚の分布について. 東北水研研報 2:19-21.
- 堀田秀行・小川達 (1955). 海区別カツオの摂餌組成について. 東北水研研報 4: 62-82.
- Houde ED (1987). Fish early life dynamics and recruitment variability. Am Fish Soc Symp 2: 17-29.
- Hovenkamp F (1990). Growth difference in larval plaice *Pleuronectes platessa* in the Southern Bight of the North Sea as indicated by otolith increments and RNA/DNA rations. Mar Ecol Prog Ser 58: 205-215.
- Hunter JR, Macewicz BJ and Sibert JR (1986). The spawning frequency of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, from the South Pacific. Fish Bull US 84: 895-903.
- IATTC (2001). Age and growth of bigeye tuna. Ann Rep Inter-Am Trop Tuna Comm 1999 La Jolla California USA: 18-19.
- 飯塚景記・浅野政宏・永沼璋 (1989). 南方カツオ(*Katsuwonus pelamis* LINNAEUS)

- の食性とカツオ幼魚の出現状況. 東北水研研報 51: 107-116.
- 井上元男・堤恒平・長岡英男・永田豊照 (1974). 人工授精によるカツオのふ化及び仔魚飼育の二、三の知見. 東海大紀要海洋学部 8: 37-42.
- 石田実・三谷卓美・上原伸二・本田仁 (2004a). 平成 15 年マイワシ太平洋系群の資源評価. 我国周辺水域の漁業資源評価 第 1 分冊 11-39.
- 石田実・三谷卓美・上原伸二・本田仁 (2004b). 平成 15 年カタクチイワシ太平洋系群の資源評価. 我国周辺水域の漁業資源評価 第 2 分冊 505-534.
- Itoh T and Tsuji S (1996). Age and growth of juvenile southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) based on otolith microstructure. Fish Sci 62: 892-896.
- Itoh T, Shiina Y, Tsuji S, Endo F and Tezuka N (2000). Otolith daily increment formation in laboratory reared larval and juvenile bluefin tuna (*Thunnus thynnus*). Fish Sci 66: 834-839.
- Jenkins GP and Davis TLO (1990). Age growth rate, and growth trajectory determined from otolith microstructure of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) larvae. Mar Ecol Prog Ser 63: 93-104.
- Johnson AG (1983). Comparison of dorsal spines and vertebrae as ageing structures for little tunny, *Euthynnus alletteratus*, from the northeast Gulf of Mexico. In *Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks* (E. D. Prince, and L. M. Pulos, eds.), NOAA Tech Rep NMFS 8:111-115.
- Jones S and Kumaran M (1960). Distribution of larval tuna collected by the Carlsberg Foundation's Dana Expedition (1928-30) from the Indian Ocean. FAO Fisheries Reports 8: 1753-1773.
- Jones CM (1986). Determining age of larval fish with otolith increment technique. Fish Bull US 84: 91-103.
- Jones CM (1992). Development and application of the Otolith increment technique. In: *Otolith Microstructure Examination and Analysis* (D. K. Stevenson & S. E. Campana eds), Ottawa. Can Spec Publ Fish Aquat Sci 117: 1-11.
- Joseph J and Calkins TP (1969). Population dynamics of the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) of eastern Pacific Ocean. Inter-Amer Trop Tuna Comm Bull 13: 1-273.

- Josse E, Le Guen JC, Kearney RE, Lewis AD, Smith BR, Marec L and Tomlinson PK (1979). Growth of skipjack. South Pac Comm Occas Pap 11: 1-83.
- 笠原康平 (1976). 北太平洋におけるカツオの回遊・分布. 水産海洋研究会報 29:57-58.
- Kawai H (1972). Hydrography of Kuroshio Extension. In: Stommel H, Yoshida K (eds) Kuroshio: its physical aspects. University of Tokyo Press. Tokyo. 235-252.
- 川崎健 (1955). 伊豆・小笠原および東北海区におけるカツオの移動および成長について. 東北水研研報 4: 101-119.
- 川崎健 (1965). カツオの生態と資源. 1. 分類および分布. 生態論. 日本水産資源保護協会 水産研究叢書 8: 1-48.
- King JE and Ikehara II (1956). Comparative study of food of bigeye and yellowfin tuna in the central Pacific. Fish Bull US 57: 61-85.
- Koblentz-Mishke OJ, Volkovinsky VV, and Kavanova JG (1970). Plankton primary production of the world ocean. In Wooster, W. S. (ed.), Scientific Exploration of the South Pacific, National Acad Sci Wash. pp. 183-193.
- Langley A, Ogura M and Hampton J (2003). Stock assessment of skipjack tuna in the western and central Pacific Ocean. SCTB16 Working Paper SKJ-1 41 pp.
- Laurs RM, Nishimoto R and Wetherall JA (1985). Frequency of increment formation on sagittae of North Pacific albacore (*Thunnus alalunga*). Can J Fish Aquat Sci 42: 1552-1555.
- Lehodey P and Leroy B (1999). Age and growth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from the Western and Central Pacific Ocean as indicated by daily growth increments and tagging data. SCTB12 Working Paper BET-2 17 pp.
- Leroy B (2000). Preliminary results on skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) growth. SCTB 13 WP SKJ-1 13 pp.
- Longhurst A, Sathyendreneth S, Platt T and Caverhill C (1995). An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data. J Plankton Res 17: 1245-1271.
- Marr JC (1948). Observations on the spawning of oceanic skipjack *Katsuwonus pelamis* and yellowfin tuna *Neothunnus macropterus* in the northern Marshall Islands. Fish

- Bull US 51: 201-206.
- 益田玲爾 (2005). 仔稚魚の行動特性と生き残り. 海の生物資源. 東海大学出版会. 東京. 88-101.
- Matsumoto WM, Skillman RA and Dizon AE (1984). Synopsis of biological data on skipjack tuna, (*Katsuwonus pelamis*). NOAA Tech Rep NMFS Circ 451: 1-92.
- Meekan MG and Fortier L (1996). Selection for fast growth during the larval life of Atlantic cod *Gadus morhua* on the Scotian Shelf. Mar Ecol Prog Ser 137:25-37.
- 宮部尚純 (2005a). キハダ. 中西部太平洋. 平成 16 年度国際漁業資源の現況. 水産庁・水産総合研究センター 101-113.
- 宮部尚純 (2005b). メバチ. 太平洋. 平成 16 年度国際漁業資源の現況. 水産庁・水産総合研究センター 137-160.
- Miyake MP (1968). Distribution of skipjack in the Pacific Ocean, base on the records of accidental catches by the Japanese longline tuna fishery. Inter-Amer Trop Tuna Comm Bull 12: 511-539.
- Moksness E, Rukan K, Ystanes L, Folkvord A and Johannesen A (1995). Comparison of somatic and otolith growth in North Sea herring (*Clupea harengus* L.) larvae: Evaluation of growth dynamics in mesocosms. In: Secor DH, Dean JM and Campana SE (eds) Recent developments in fish otolith research. University of South Carolina Press. pp. 119-134.
- 森慶一郎 (1972). まぐろ延縄により漁獲されたマグロ・カジキ類の胃内容物として出現する数種のサバ型魚類の幼稚魚の地理的分布と相対密度 - I. カツオ. 遠洋水研報 6: 111-157.
- 永沼璋 (1979). 西部太平洋におけるカツオの産卵活動について. 東北水研研報 40: 1-13.
- Nakamura EL (1965). Food and feeding habits of skipjack (*Katsuwonus pelamis*) from the Marquesas and Tuamotu Islands. Trans Am Fish Soc 94: 236-242.
- 二平章 (1996). 潮境域におけるカツオ回遊魚群の行動生態および整理に関する研究. 東北水研研報 54: 137-233.
- 西川康夫・本間操・上柳昭治・木川昭二 (1985). 遠洋性サバ型魚類仔稚の平均分布、1956-1981 年. 遠洋水産研究所 S Series 12.

- 農林水産省農林経済局統計情報部 (1964~2002). 漁業・養殖業生産統計年報. 昭和 38 年~平成 12 年.
- 落合明・田中克 (1998). カツオ類. 新版魚類学 (下) 改訂版. 恒星社厚生閣. 東京. 856-883.
- 小達和子 (1994). 東北海域における動物プランクトンの胴体と長期変動に関する研究. 東北水研研報 56: 115-173.
- Ogura M and Shono H (1999). Factors affecting the fishing effort of the Japanese distant-water pole-and-line vessel and the standardization of that skipjack CPUE. SCTB12 Working Paper SKJ-4 17 pp.
- 小倉未基 (2005). カツオ. 中西部太平洋. 平成 16 年度国際漁業資源の現況. 水産庁・水産総合研究センター 239-251.
- 大泉宏・渡邊光・李雅利・川原重幸 (2001). 西部北太平洋に生息するハダカイワシ類の耳石による種同定. 海洋と生物 137: 626-637.
- Radtke RL (1983). Otolith formation and increment deposition in laboratory-reared skipjack tuna, (*Euthynnus pelamis*), larvae. In *Proceedings of the international workshop on age determination of oceanic pelagic fishes: tunas, billfishes, and sharks* (E. D. Prince, and L. M. Pulos, eds.), NOAA Tech Rep NMFS 8: 99-103.
- Raju G (1964). Studies on the spawning of the oceanic skipjack Observations on the food and feeding habits of the oceanic skipjack, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus) in Minicoy waters. In *Proceedings of the Symposium of Scombroid Fishes*. Mar Biol Assoc India Symp 1: 744-768.
- Pannela G (1971). Fish otolith-daily growth layers and periodical patterns. *Science* 173: 1124-1127.
- Schaefer MB (1961). Appendix A. Report on the investigations of the Inter-America Tropical tuna Commission for the year 1960. Inter-Am Trop Tuna Comm Annu Rep 1960: 40-183.
- Secor DH, Dean JM and Campana SE (1995). Fish otoliths: Faithful biological and environmental chronometers? in *Recent Developments in Fish Otolith Research*. eds. Secor, D.H., J.M. Dean and S.E. Campana. Univ. South Carolina Press, Columbia, SC. USA. xxv-xxvii.



- Secretariat of the Pacific Community (2003). Overview of skipjack fisheries in the Western and Central Pacific Ocean 2002. SCTB16 Working Paper SKJ-2 8 pp.
- Secretariat of the Pacific Community (2004). Tuna Fishery Year Book 2003. Secretariat of the Pacific Community. Noumea. New Caledonia. 179 pp.
- 白藤徳夫 (2004). 串本周辺海域におけるキビナゴの生活史と資源加入機構に関する研究. 東京大学学位論文.102 pp.
- Simmons DC (1969). Maturity and spawning of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Atlantic Ocean, with comments on nematode infestation of the ovaries. US Fish Wildl Serv Spec Sci Rep Fish 580: 17.
- Sosa-Nishizaki O, Shimizu M and Nose Y (1989). The potential use of the second dorsal fin rays of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* as an aging character. Nippon Suisan Gakkaishi 59: 1559-1564.
- Stéquent B, Panfili J and Dean JM (1996). Age and growth of yellowfin tuna *Thunnus albacares*, from the Western Indian Ocean. Fish Bull US 94: 124-134.
- Stéquent B, Rodriguez JN, Cuisset B and Menn (2001). Gonadosomatic index and seasonal variations of plasma sex steroids in skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) from the western Indian ocean. Aquat Living Resour 14: 313-318.
- Stéquent B and Conand F (2004). Age and growth of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the western Indian Ocean. Cybium 28: 163-170.
- 須田明 (1953). マグロ・カジキ類の胃内容物中にみられるカツオ若年魚. 日水誌 19: 319-327.
- Takahashi M and Watanabe Y (2004). Growth rate dependent recruit of Japanese anchovy, *Engraulis Japonicus*, in the Kuroshio-Oyashio Transitional waters. Mar Ecol Prog Ser. 266, 227-238.
- Tamio O and Uchida RN (1959). Study of age determination by hard parts of Albacore from Central North Pacific and Hawaiian waters. Fish Bull US 59: 353-363.
- 田邊智唯 (2002). 西部北太平洋におけるカツオの初期生態に関する研究. 水研センター研報 3: 63-132.
- Tanabe T, Kayama S, Ogura M and Tanaka S (2003). Daily increment formation in

- otoliths of juvenile skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). Fish Sci 69: 731-737.
- 田中有 (1989). 南方海域における海外まき網漁業の漁獲量とカツオ (*Katsuwonus pelamis* Linnaeus)の年齢組成の経年変化. 東北水研研報 51: 89-106.
- 東北区水産研究所 (1957). 昭和 27 年度東北区水産研究所海洋資源年報. 第 2 部 カツオ資源篇 133 pp.
- Uchiyama JH and Struhsaker P (1981). Age and growth of skipjack tuna, (*Katsuwonus pelamis*), and yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, as indicated by daily growth increments of sagittae. Fish Bull US 79: 151-162.
- 上柳昭治 (1969). インド・太平洋におけるマグロ類稚魚の分布 - ビンナガ産卵域の推定を中心とした検討. 遠洋水研報 2:177-256.
- 上柳昭治・西川康夫・松岡玳良 (1974). カツオの人工ふ化と仔魚の形態. 遠洋水研報 10: 179-188.
- Waldron KD (1963). Synopsis of biological data on skipjack, *Katsuwonus pelamis*, (Linnaeus) 1758 (Pacific Ocean). Proc World Sci Meet Biol Tunas and Rel Spec FAO Fish Rep 6: 695-748.
- Watanabe C and Yatsu A (2004). Effects of density-dependence and sea surface temperature on interannual variation in length-at-age of club mackerel (*Scomber japonicus*) in Kurosio-Oyasio area during 1970-1997. Fish Bull US 102: 196-206.
- 渡邊良朗 (1997). 年齢形質の有効性の検討. 赤嶺達郎・麦谷泰雄 (編) 水産動物の成長解析. 厚生社厚生閣. 東京. pp. 17-26.
- Watanabe Y (2002). Resurgence and decline of the Japanese sardine population. In “Concepts in Fishery Science: The Unique Contribution of Early Life Stages” (ed. Fuiman L. A. and R. G. Werner). Blackwell Science. London. pp. 243-257.
- Watanabe Y, Butler JL and Mori T (1988). Growth of saury, *Cololabis saira*, in the northeastern and northwestern Pacific Ocean. Fish Bull US 86: 489-498.
- Watanabe Y, Zenitani H and Kimura R (1995). Population decline of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to recruitment failures. Can J Fish Aquat Sci 52: 1609-1616.
- Watanabe Y, Zenitani H and Kimura R (1996). Offshore expansion of spawning of the

- Japanese sardine *Sardinops melanostictus* and its implication for egg and larval survival. *Can J Fish Aquat Sci* 53: 55-61.
- Watanabe Y, Oozeki Y and Kitagawa D (1997). Larval parameters determining pre-schooling juvenile production of saury *Cololabis saira* in the northwestern Pacific. *Can J Fish Aquat Sci* 54: 1067-1076.
- Watanabe Y, Kurita Y, Noto M, Oozeki Y and Kitagawa D (2003). Growth and survival processes of Pacific saury *Cololabis saira* in the Kuroshio-Oyashio transitional waters. *J Oceanogr* 59: 403-414.
- Wexler JB (1993). Validation of daily growth increments and estimation of growth rates of larval and early juvenile black skipjack, *Euthynnus lineatus* using otolith. *Inter-Amer Trop Tuna Comm Bull* 20: 401-440.
- Wild A and Foreman TJ (1980). The relationship between otolith increments and time for yellowfin and skipjack tuna marked with tetracycline. *Inter-Amer Trop Tuna Comm Bull* 17: 507-560.
- Wild A, Wexler JB and Foreman TJ (1995). Extended studies of increment deposition rates in otoliths of yellowfin and skipjack tunas. *Bull Mar Sci* 57: 555-562.
- 山田陽巳・高橋未緒 (2005). クロマグロ. 太平洋. 平成 16 年度国際漁業資源の現況 水産庁・水産総合研究センター 29-35.
- 山中一 (1982). 太平洋におけるクロマグロの生態と資源. 水産研究叢書 34. 日本水産資源保護協会.
- Yao M (1981). Growth of skipjack tuna in the western Pacific Ocean. *Bull. Tohoku Reg Fish Res Lab* 43: 71-82.
- 横田滝雄・通山正弘・金井富久子・野村星二 (1961). 魚類の食性の研究. 南海水産研報 14: 1-239.
- Yoshida H (1971). The early life history of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, in the Pacific Ocean. *Fish Bull US* 69: 545-554.
- Zar JH (1999). *Biostatistical Analysis*. 4th Edition. Prentice-Hall Inc, Upper Saddle River NJ 931 pp.
- 財団法人日本海洋協会 (1997). 英和对訳国際海洋法条約〔正訳〕. 成山堂. 東京. 479 pp.