

日本海西部海域産キダイの再生産関係

今井千文^{1†}、道根 淳²、村山達朗²

Stock-recruitment relationship of yellow sea bream *Dentex tumifrons* from the western Sea of Japan

Chifumi Imai^{1†}, Atsushi Michine² and Tatsuro Murayama²

Abstract : The western Sea of Japan stock of yellow sea bream *Dentex tumifrons* was analysed for stock-recruitment relationship using virtual population analysis. The biomass of spawning females increased from 740 t in 1992 to 1,530 t in 1999, and decreased to 800t in 2008. The spawning biomass again increased thereafter. Recruitment (number of age 1 fish) ranged from 15.4 million in 1993 to 32.3 million in 2000. Recruitment varied with two or three year cycle before 2003. Recruitment in 2004 was secondary minimum and increased simply after 2005. The Ricker type stock-recruitment model, $\hat{R}=55.0Pe^{-0.000811P}$, was derived. An index of year class strength was evaluated from the relative distance from the Ricker curve, $RR = (R - \hat{R}) / \hat{R}$. Significant positive correlations were observed between RR and sea water temperature at west of the Oki Islands in August to September. It was considered that recruitment success of yellow sea bream may be enhanced by high temperatures in summer-autumn season.

Key words : *Dentex tumifrons*, sea water temperature, virtual population analysis, yellow sea bream

結論

キダイは北海道南部以南の日本周辺海域、東シナ海、黄海および南シナ海の水深 100 ~ 200m の砂泥底域に生息し、全長 35 cm 程度まで成長するタイ科魚類である。産卵期は春~初夏と秋の年 2 回あり、春初夏発生群と秋発生群の 2 群が認められる¹⁻³⁾。また、雌性先熟の性転換が起こり³⁾、性比は年齢とともに低下する^{1,2)}。山口県下関漁港と島根県浜田漁港に在籍する 2 隻曳沖合底曳網漁船(以下では「日本海西部沖合底曳網」と略称する)が漁獲対象とする魚類資源の中で、漁獲量は最大級であり、最重要資源の 1 つである。

キダイ日本海、東シナ海系群の資源動向については福若、依田⁴⁾が公表している。しかし、東シナ海のキダイ資源は中国および韓国漁船も利用しており、我が国の漁獲量資料

だけでは全容を知るには不十分である。本研究では日本海西部沖合底曳網の水揚げ総計より得た年齢別漁獲尾数資料を山口、島根両県の小型底曳網第 1 種漁業による漁獲量で引き延ばしてコホート解析法により資源量計算を実施した。得られた年齢別資源尾数資料から再生産関係を解析し、加入量変動とその要因として重要な環境因子である水温との関係について考察する。

資料と方法

年齢別漁獲尾数の集計

コホート解析法により資源解析を行うには使用する年齢別漁獲尾数資料の推計精度の良し悪しが解析の結果を大きく左右する。キダイの年齢別漁獲尾数の推計に用いた資料は日本海西部沖合底曳網の水揚げ市場である下関中央魚市

¹水産大学校海洋生産管理学科 (Department of Fisheries Science and Technology, National Fisheries University)

²島根県水産技術センター (Shimane Prefectural Fisheries Technology Center)

[†]別刷り請求先 (corresponding author) : cimai@fish-u.ac.jp

場(株)と浜田市漁業協同組合の銘柄別水揚げ箱数資料であり、水揚げのほぼ全量についてデータが得られるため、年齢別漁獲尾数の推計精度は高い。データが利用可能であった期間は、下関漁港では1992年から2012年、浜田漁港では1998年から2012年である。

日本海西部沖合底曳網の漁獲物は魚体サイズ毎に分類され、規格化された発泡スチロール製または木製の箱に整理して箱詰めされて水揚げされる。大型個体は発泡スチロール箱に3から6列に並べ、12尾から72尾詰めたその数である入数を銘柄名としている。入数 n ごとの平均全長 TL_n (cm) は、市場調査から求めた入数別の値に、べき乗関数、

$$TL_n = 67.1 n^{0.338} \quad (12 \leq n \leq 72, R=-0.996 \quad p<0.01) \quad \dots\dots(1)$$

をあてはめて、平滑化した値³⁾を使用した。浜田漁港においてはキダイの銘柄と体長の関係は未調査であり、下関漁港と同じ式を使用した。

キダイの小型魚はその通称「れんこ」の小型として、「芝れんこ」と称される。下関漁港では1997年以前は豆芝と豆々芝の2銘柄、1998年以降は、大、中、小、豆の4銘柄に細分されている。これらの銘柄別の平均体長と平均入数は市場調査データより求めた。浜田漁港では小型個体は散(バラ)として細分が無いため、入数を計測し、その平均値をそのまま使用した。

銘柄別水揚げ箱数資料から年齢別漁獲箱数を求める方法として、年齢-銘柄キー法⁶⁾を使用した。この方法は、各銘柄が前後する2つの年齢群の混合であると仮定し、成長モデルにより求めた平均年齢と2群を混ぜた平均年齢が一致するよう混合比を求める方法である。キダイの成長モデルは、Oki and Tabeta²⁾が東シナ海のキダイについて発生群別、雌雄別に求めた年齢毎の体長の平均値から求めた、発生群込み、雌雄込みの、von Bertalanffy model、

$$TL_t = 38.7 \{ 1 - e^{-0.217(t+0.319)} \} \dots\dots(2)$$

を使用した。なお、キダイの年齢起算日は春初夏生まれ群と秋生まれ群の間をとって、8月15日とした。年齢区分は1歳から5歳および6歳魚以上を6+としてまとめた。キダイの t 歳、 y 年の漁獲尾数 $C_{t,y}$ は、下関漁港 $CS_{t,y}$ と浜田漁港 $CH_{t,y}$ を別々に求め、両者を合算した。なお、1992年～1997年については、浜田港の資料が得られなかったため、1998年～2012年の下関漁港と浜田漁港を合算した

年齢別漁獲尾数と下関漁港のそのの回帰式

$$C_{t,y} = CS_{t,y} + CH_{t,y} = a_{t,y} + b_{t,y} \times CS_{t,y} \dots\dots(3)$$

を求め、これに $CS_{t,1992}, \dots, CS_{t,1997}$ を代入して求めた。なお、山口、島根両県の小型底曳網第1種漁業も相当量のキダイを漁獲する。しかし、銘柄組成は不明であるため、漁獲統計のある、島根県の1統当たり漁獲量に山口県、島根県の統数を乗じて小型底曳網第1種漁業による漁獲量を求め、日本海西部沖合底曳網の年齢別漁獲尾数を重量比例配分して引き延ばした。

コホート解析法

コホート解析法は後進法を使用し、Popeの近似式⁷⁾を使用して、 t 歳、 y 年の資源尾数 $N_{t,y}$ を、

$$N_{t,y} = N_{t+1,y+1} \cdot e^M + C_{t,y} \cdot e^{M/2} \dots\dots(4)$$

により計算する。ここで、自然死亡係数 M は田内、田中の式⁸⁾、 $M = 2.5 / T$ (T は最高年齢) において $T = 7.5$ として、 $M = 0.35$ を採用した。

この計算を実施するには最高齢、6+歳魚の資源尾数、 $N_{6+,1992}, \dots, N_{6+,2012}$ を求める必要があり、その方法として、平松のリンクコホート法⁹⁾を使用した。この方法は各年の5歳魚と6+歳魚の漁獲係数が等しい、すなわち、 $F_{6+,y} = F_{5,y}$ と仮定する。本研究では、6歳以上をまとめて6+歳としたため、

$$N_{5,y} = \frac{C_{5,y}}{C_{5,y} + C_{6+,y}} \cdot N_{6+,y+1} \cdot e^M + C_{5,y} \cdot e^{M/2} \dots\dots(5)$$

$$N_{6+,y} = \frac{C_{6+,y}}{C_{5,y} + C_{6+,y}} \cdot N_{6+,y+1} \cdot e^M + C_{6+,y} \cdot e^{M/2} \dots\dots(6)$$

により計算した。したがって、

$$F_{5,y} = F_{6+,y} = \ln(N_{5,y} + N_{6+,y}) / N_{6+,y+1} \cdot M \dots\dots(7)$$

である。

計算の手順は、最初に次式、

$$N_{t,y} = \frac{F_{t,y} + M}{F_{t,y} \cdot \{ 1 - e^{-(F_{t,y} + M)} \}} \cdot C_{t,y} \dots\dots(8)$$

を使用して、 $N_{6+,2012}$ を計算する。この時、初期値として、

$F_{6+,2012} = 1$ を与えておく。続いて、式 (7)、(6)、(5) を使用して、2011 年 5 歳以前の $N_{t,y}$ を計算する。 $N_{6+,2012}$ が計算されているので、式 (5) により $N_{5,2011}$ が計算できる。以下同様にさかのぼって計算する。

この時点で 2011 年以前の $F_{5,y}$ が計算でき、平松⁹⁾ は $F_{5,2012}$ に過去 3 年間の F の平均値を採用した。しかし、今井らによるヤナギムシガレイの解析では、年齢別漁獲係数と漁獲尾数の間に有意な正相関が認められた¹⁰⁾。キダイについても同様に有意な関係が認められたため、漁獲係数の漁獲尾数に対する直線回帰式を求め、これに 2012 年の漁獲尾数を与えて求めた。以下同様に $F_{1,2012}, \dots, F_{5,2012}$ を求めて式 (8) と (4) により 2012 年までの全年齢の資源尾数を計算した。最後に $F_{6+,2012}$ が $F_{5,2012}$ と等しくなるよう、 $F_{6+,2012}$ を調整した。

再生産関係

コホート解析法により得られた年齢別資源尾数から再生産関係を検討するための雌親魚資源量および加入尾数は以下により求めた。雌親魚資源量 P は、年齢別資源尾数に年齢別の性比（雌の割合）と成熟割合をかけて成熟雌尾数を求め、さらに年齢別平均体重を乗じて求めた。性比は Oki and Tabeta³⁾、成熟割合と平均体重は真道¹⁾ より、Table 1 に示す値を使用した。加入尾数 R として翌年の 1 歳魚資源尾数を用いた。

Table 1. Biological data for evaluating spawning female biomass of yellow sea bream

Age	Sex ratio ^{*1}	Maturity rate ^{*2}	Mean body weight (g) ₁
2	0.81	0.3	94
3	0.67	0.73	195
4	0.38	1	313
5	0.17	1	434
6+	0.17	1	665

*1 : from Oki and Tabeta (1998)

*2 : from Shindo (1967)

再生産モデルは、Beverton-Holt 型⁸⁾ と Ricker 型⁸⁾ の内、AIC が小さかった Ricker 型、

$$\hat{R} = a P e^{-bP} \dots \dots \dots (9)$$

を採用し、曲線の周りに正規分布すると仮定し、最尤法により、係数 a, b を決定した。

再生産成功率の指標としては、Ricker 型再生産曲線から

の相対距離である RR 、

$$RR = (R - \hat{R}) / \hat{R} \dots \dots \dots (10)$$

を卓越度 RR と定義し、再生産成功率の指標に用いた¹⁰⁾。

水温資料

得られた年別卓越度の年変動は、海洋環境要因に依存した生活史初期の生残率を反映したものと考えられ、キダイの分布域の水温年変動との関係を検討した。水温資料はヤナギムシガレイについて同様の解析を行った¹⁰⁾ 際と同じで、五島灘（長崎県総合水産試験場）、玄界灘（佐賀県玄海水産振興センター、福岡県水産海洋技術センター）、響灘（山口県水産研究センター）、隠岐諸島西（島根県水産技術センター）における定点観測結果より得た。なお、キダイの産卵期は春～初夏と秋の 2 回であるため、ヤナギムシガレイの場合よりも長く、3 月～12 月分のデータを使用した。

結果

年齢別漁獲尾数の経年変動

得られたキダイの年齢別漁獲尾数の経年変化を Fig.1 に

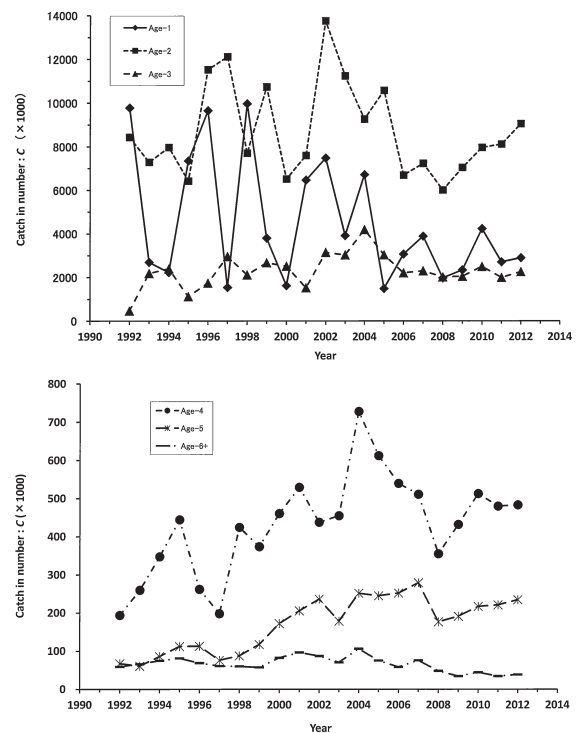


Fig. 1. Yearly change of catch in number $C_{t,y}$ of yellow sea bream.

示す。日本海西部沖合底曳網では資源保護のため、毎年5月16日から8月15日までの3ヶ月間を休漁としている。キダイの1歳魚は休漁明けの8月からの約4.5ヶ月間に漁獲される。1歳魚の漁獲尾数は約150万～1,000万尾で、2006年までは2、3年周期で大きな変動を示した。2007年以降は変動の振幅、中央値ともに小さくなっている。漁獲尾数は2歳魚が最も多く、約600万～1,380万尾でやはり年変動は大きく、期間を通じての増減傾向は認められなかった。続いて、3歳魚が多く漁獲され、1998年の47.2万尾から2004年の420万尾まで増加した後は減少傾向に転じた。4歳魚の漁獲尾数は200万～730万尾で、2004年まで増加した後、減少し2009年以後は再度増加した。

コホート解析による資源計算結果

年齢別漁獲尾数とコホート解析法により計算した漁獲係数の関係を Fig. 2 に示す。漁獲係数と漁獲尾数との相関係数は0.446～0.857で、1% (1、3、5歳魚) または5%水準 (2、4歳魚) で有意であった。したがって、これらの回帰式を用いて2012年の漁獲係数を求めることは合理的であるといえる。

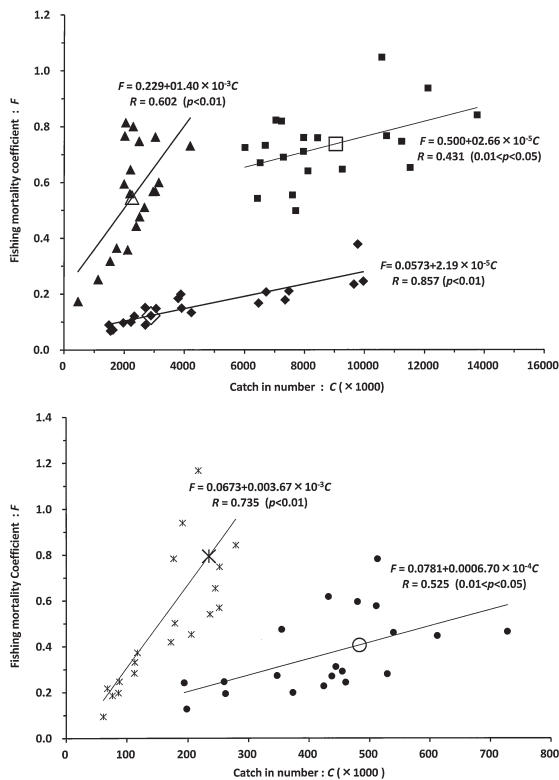


Fig. 2. Relationship between fishing mortality coefficient $F_{t,y}$ and catch in number $C_{t,y}$ of yellow sea bream. Large symbols indicate estimated $F_{t,2012}$.

年齢別資源尾数を Fig. 3 に示す。1歳魚の資源尾数は1,540万尾～3,230万尾と計算され、2004年までは2年あるいは3年間で大きな振動を示した。2005年～2007年に1,600～1,800万尾の極小となって以後は振動は認められなくなり、単調増加に転じ、2011年には3,110万尾となった。2歳魚の資源尾数は980万～2,000万尾の範囲で、変動傾向は1歳魚の1年遅れとなっている。3歳魚以上についても1歳魚の変動に時間遅れとなった変動で、その変動幅は年齢とともに小さくなっている。

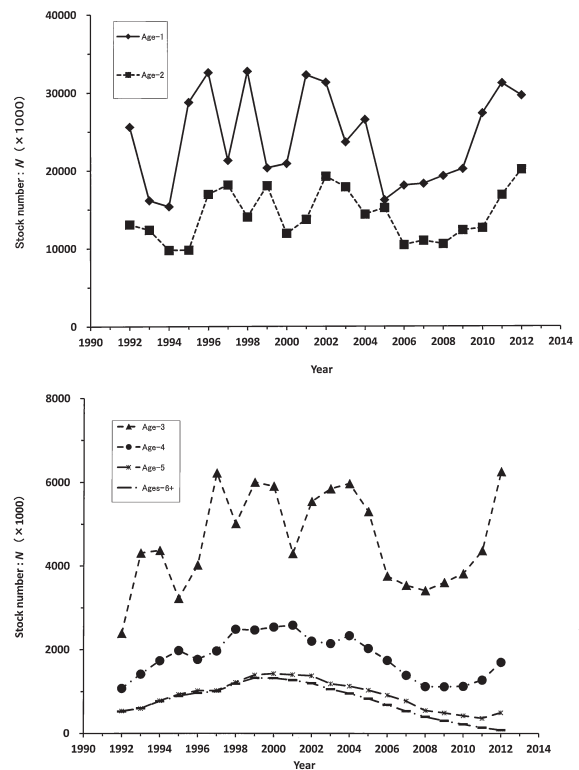


Fig. 3. Yearly change of stock number $N_{t,y}$ of yellow sea bream.

年齢別漁獲係数の年変動を Fig. 4 に示す。1歳魚の漁獲係数は0.07～0.38と低い値で、1992年が0.38で、その後

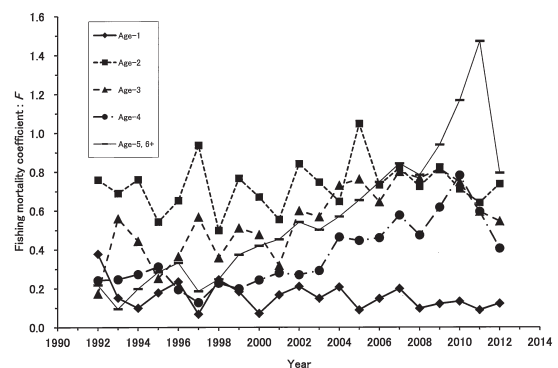


Fig. 4. Yearly change of fishing mortality coefficient $F_{t,y}$ of yellow sea bream.

は2、3年間隔で小さな振動を示した。2歳魚の漁獲係数は0.50～1.04の範囲で全年齢で最も大きく、1歳魚と同様に横ばいで振動した。3歳魚の漁獲係数は2007年まで増加傾向にあったが、以後は緩い減少に転じた。4歳魚以上の漁獲係数変動はおおむね3歳魚のそれに時間遅れを与えた変動であった。

再生産関係

コホート解析により得られた年齢別資源尾数から Table 1 の生物学特性を用いて雌親魚資源量を求め、翌年の1歳魚資源尾数を加入尾数として再生産関係を作図した (Fig.5)。図には得られた Ricker 型の再生産曲線、

$$\hat{R} = 55.0 P e^{-0.000811 P} \dots\dots\dots(11)$$

を図示している。雌親魚資源量は1992年には最少の740トンであったが、6年後の1999年に最大値の1,530トンに達した。2005年以降は連続した減少に転じ、2008年に極小の780トンになった後は回復し、2011年には1,000トンに達した。再生産曲線から得られる加入量が最も高いと期待される雌親魚資源量は P^* は、 $P^* = 1/0.000811 = 1,230$ トンであり、1997年～2005年のキダイ資源はこの値を越えていたが、2006年以降は下回っていた。しかし、2008年を底に回復し、図には示していないが、2012年の雌親魚資源量は P^* より大きい1,300トンまで増加した。

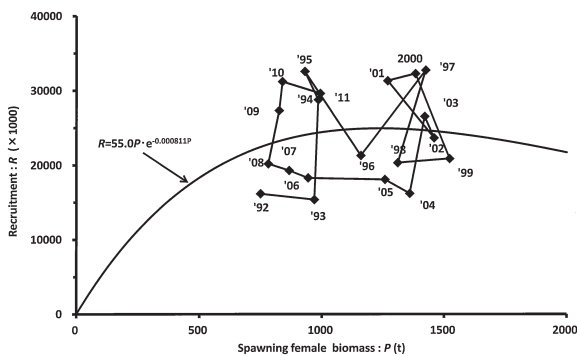


Fig. 5. Stock-recruitment relationship of yellow sea bream.

一方で、加入尾数は1995年級の3280万尾が卓越し、1997、2000、2001年級も3000万尾を越える卓越年級であった。2004年級は1,570万尾の弱い年級で、その後も加入尾数は低水準であったが、2007年級以降は増加し、2009年級は前年の1.27倍の2,730万尾、2010年級は3,110万尾で、2001年以来の3,000万尾超で卓越し、2011年級も2970万

尾であった。

再生産成功率と水温の関係

前項で示された再生産関係からキダイの卓越度 RR を求め、その経年変化を Fig.6 に示す。 RR は加入量の再生産曲線からの相対距離であり、平均的な加入量では0となる。卓越度は1995年級が0.352で最も高く、その後も1997、2000および2001年級で0.2を越える高い値が観察された。一方、1993年級の卓越度が-0.376で最も低く、1996、1998、1999年級も $RR < 0.1$ のやや弱い年級であった。図から明らかなように、2003年級までの RR 値は2～4年間で正と負の値が変化する周期的な変動を示した。2004年級の RR は-0.353で1993年級に次いで低かったが、2005年級以降は単調増加し、2010年級は $RR=0.330$ まで回復した。

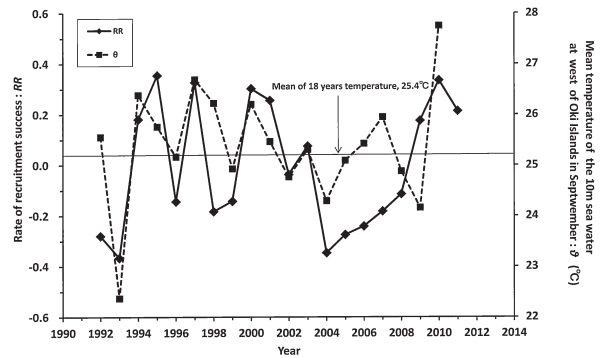


Fig. 6. Yearly change of the relative distance from Ricker curve RR of yellow sea bream and mean temperature of the 10m sea water at west of Oki Islands in September.

RR と五島灘から隠岐諸島西までの5県海域の3月から12月の層別平均水温との相関係数を求めた。五島灘、玄界灘、響灘および隠岐諸島西の3月～6月の水温と RR の間には有意な相関は認められなかった。島根県水産技術センター観測の隠岐諸島西海域における8月から11月の相関係数を Table 2 に示す。9月の層別水温は30m層を除いて RR と有意な相関係数を示した。Fig.6には相関係数が $R=0.583$ ($p < 0.01$) で最大であった9月10m層の水温も併記している。 RR と水温の変動傾向は凹凸が良く一致している。水温と RR の相関図を Fig.7 に示す。平均水温の範囲は22.4～28.8℃で、19年間の平均値は25.4℃であった。平均水温が26℃以上では5点中4点、80%で $RR > 0$ 、平均水温が27.8℃で最高であった2010年は $RR=0.335$ で、0.354の1995年に次ぐ値であった。逆に平均水温25℃未満では、6点中5点の83%が $RR < 0$ で、最低水温の1993年は22.4℃で $RR=-0.367$ と最低であった。

Table 2. Coefficients of correlation between mean temperature of the sea water at west of Oki Islands in August to November and the relative distance from Ricker curve *RR*

Depth (m)	Coefficient of correlation			
	August	September	October	November
0	0.183	0.495*	-0.0254	0.012
10	0.159	0.583**	-0.279	0.124
20	0.270	0.560*	-0.0760	0.379
30	-0.0990	0.356	-0.0190	0.185
50	0.033	0.481*	0.362	0.557*
75	0.410	0.561*	0.391	0.511*
100	0.457*	0.538*	0.383	0.428
150	0.403	0.490*	0.294	0.248
200	0.186	0.562*	0.425	0.306

* : significant at 5% level

** : significant at 1% level

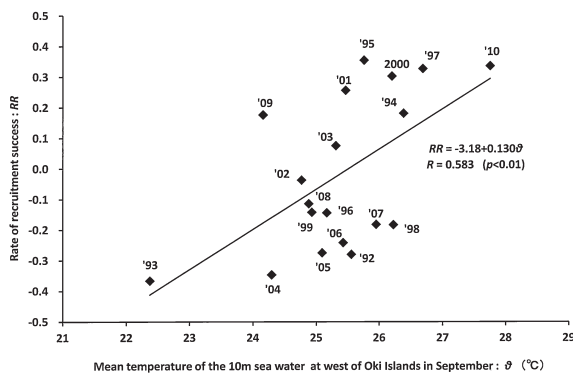


Fig. 7. Relationship between the relative distance from Ricker curve *RR* and mean temperature of the 10m sea water at west of Oki Islands in September.

考察

資源の変動

今回得られたキダイの年齢別資源尾数の解析結果から加入尾数は2003年までは、およそ2～3年周期で大きく増減している様子が観察された。しかし、2004年級は19年間で2番目に少なく、以後は2006年級まで低水準で推移した。2007年級以降は単調増加となり、2011年級は研究期間で4番目の大きな年級になった。2004年～2006年級の加入量が連続して低水準であったため、雌親魚資源量は急速に減少し、2008年には過去最低であった1992年と同水準にまで減少した。しかし、2009年級以後は、*RR*が0.1以上の強い年級が3年間続き、雌親魚資源量は回復し、2012年の雌親魚量は $P^*=1,230$ トンを越えた1,300トンと

なった。キダイ資源は低水温の連続など、環境条件の悪化により親魚資源量が減少しても、環境条件が好転すれば、速やかに資源を回復することができる頑健な資源であるといえる。ただし、キダイの市場価格は相対的に低く、漁獲圧も相対的に低い¹¹⁾ことが資源を速やかに回復できる条件となっている。

卓越度の変動と水温の関係

日本海西部沖合底曳網によりキダイと同様に重要種であるヤナギムシガレイの卓越度と長崎県五島灘から島根県隠岐島西までの海域の3～5月の平均水温には正の相関が認められた¹⁰⁾。特に最西部の五島灘における3月の水温との間に強い正の相関が認められた。3月はヤナギムシガレイの産卵期の後半にあたり、浮遊生活期の水温が高いと同種の生残率が高まると推察された。

今回、キダイの卓越度についても同海域の水温との関係を検討し、最も東の海域である隠岐島西の平均水温との間に有意な正相関が認められた。しかし、響灘山口県海域より西では有意な相関は得られなかった。この海域のキダイ分布密度は西で高い³⁾ため、ヤナギムシガレイと同様に五島灘など西の海域で高い相関が得られると予想したが、少し意外であった。この現象の1つの要因として、水温資料の期間の差が考えられる。隠岐島西海域の定点観測資料は検討した海域では唯一、2010年までの資料が公開されている。他の水産試験研究機関は2007年以後の資料公開を停止している。Fig.7から明らかなようにキダイの*RR*と平均水温の正相関が高いのは、1993年の非常に低い水温と*RR*そして2010年の両者の高い値に依拠する部分が多い。したがって、2010年の水温資料が無い場合は相関係数はかなり下がると予想される。実際に、Fig.7のデータから2010年を除いた相関係数は0.481まで減少した。

次に季節としては相関係数は、8月、9月および11月に有意な値が観察され、9月に最大となった。キダイの産卵期は初夏の6月と秋の11月を盛期とする年2回とされてきた¹⁻³⁾。*RR*と平均水温の相関係数が最も高かった9月は初夏の産卵盛期から約2.5ヶ月経過し、秋産卵盛期の1.5ヶ月前で産卵休止期にあたる。しかし、卵巣重量の季節変化は年齢により差があり、高齢魚では産卵休止期の夏季にも卵巣重量は大きいままである¹⁾。キダイの稚魚の採集報告は少なく、木曾¹²⁾は、東シナ海において1973年11月に採集された全長20mm弱の2個体を9～10月、1974年7月下旬の40～64mmを4～5月の産卵と推察している。こうしたことから、キダイの産卵は4～11月の長期にわた

り行われる可能性が高い。したがって、キダイの卓越度の変動要因として8月～11月の水温を想定するのは妥当であろう。

- 12) 木曾克裕：東シナ海から採集されたレンコダイの幼稚魚について. 西海水研研報、50、9-18 (1977)

謝辞

本研究で使用したキダイの銘柄別水揚げ箱数資料を集計するに当たり、下関中央魚市場(株)の水揚げ伝票電子データを使用させていただいた。関係各位のご厚意に厚く感謝する。

文献

- 1) 真道重明：東海におけるレンコダイ資源の研究. 西海水研研報、20、1-198 (1960)
- 2) Oki D、Tabeta O: Age, growth and reproduction characteristics of yellow sea bream *Dentex tumifrons* from the East China Sea. *Fish Sci*, 64, 191-197 (1998)
- 3) 山田梅芳、時村宗春、堀川博史、中坊徹次：キダイ、東シナ海の魚類史、764-769 (2007)
- 4) 福若雅章、依田真里：平成24年度キダイ日本海・東シナ海系群の資源評価. 平成24年度魚種別系群別資源評価、水産庁、1205-1226 (2013)
- 5) 今井千文、山本圭介：写真画像計測を応用した漁獲物体長測定汎用法－日本海西部海域産キダイの銘柄別体長組成推定への応用－. 水大校研報、55、123-131 (2007)
- 6) 今井千文、宮崎義信、時村宗春、山本圭介：写真画像計測による体長測定法の開発：ムシガレイ漁獲物の銘柄別全長組成推定への応用. 水産海洋研究、69、18-26 (2005)
- 7) Pope J G : An investigation of accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Res Bull int comm Northw Atlant Fish*, 9、65-74 (1972)
- 8) 田中昌一：水産資源学総論. 恒星社厚生閣、東京、406pp. (1998)
- 9) 平松一彦：VPAの入門と実践. 資源管理談話会報、20、9-28 (1999)
- 10) 今井千文、道根 淳、村山達朗：日本海西部海域産ヤナギムシガレイの再生産関係. 水大校研報、62、印刷中 (2013 予定)
- 11) 今井千文：水温変動の底魚資源への影響－地球温暖化は生物資源に悪影響を及ぼすとは限らない－. 海洋水産エンジニアリング、10、63-68 (2010)