

# 京都府沖合におけるアカムツの生物資源学的特性を 考慮した底曳網の漁業管理方策の提案

熊木 豊, 山崎 淳

Proposal of Danish seine fishing management considering  
the biological traits for black-throat seaperch  
*Doederleinia berycoides* off Kyoto prefecture

Yutaka Kumaki and Atsushi Yamasaki

The standing stock of black-throat seaperch *Doederleinia berycoides*, one of the most important species recently caught by commercial Danish seine fishing in Kyoto prefecture, may decrease because of the high proportion of juvenile fish caught with this system.

First, we evaluated biological traits of the black-throat seaperch, such as yearly growth, maturation, fishing, and natural mortality coefficient. Second, we calculated the future catch and yield of the black-throat seaperch in the case of expanding the cod-end mesh size to reduce the bycatch of juvenile fishes. The estimated catch and yield will increase in the present ones three or four years later if the Danish seine fishing operates using the cod-end with mesh opening more than 5-setsu (about 77 mm). Expanding the cod-end mesh size is expected to be effective for the stock management scheme of the black-throat seaperch.

キーワード：アカムツ, 駆け廻し式底曳網, 成長, 成熟, コッドエンド網目拡大

アカムツ *Doederleinia berycoides* は、日本周辺においては青森県以南の日本海側、東シナ海および南日本の太平洋側に広く分布し（山田ら, 2007）、主に沖合および小型底曳網（以下、底曳網と称す）や延縄、刺網などで漁獲される。日本海におけるアカムツの年間漁獲量は南西海域で多く、1960年代には沖合底曳網漁業を主体に1,500トン以上であったが、1990年代には200トン前後まで減少、2000年代には再び増加傾向を示し、近年では600トン程度で推移している（八木, 2016）。

京都府では底曳網や釣延縄、刺網で漁獲されており、底曳網による漁獲量が全体の約90%を占める。本府のアカムツ漁獲量は1991年以降2005年頃までは年間1～2トン前後であったが、その後は年変動をともないながら増加し、2018年にはこの間の最高値となる8.3トンを記録した。底曳網によるアカムツの漁獲は、9～10月の秋漁期が主体となっている。かつて当漁期にはヤナギムシガレイ *Tanakius kitaharai* を漁獲対象とした操業が多かったが、近年ではズワイガニに次ぐ高価格で取引されるアカムツを狙った操業が増えている。一方、底曳網で漁獲されるアカムツは未成熟で、市場価値の低い小型魚が主体となっている。小型魚の一部は船上でリリースされているが、水揚げ時に衰弱もしくは死亡しており放流後の生残は期待できない。アカムツ資源の持続的利用に向けこれらを網外に逃避

させて適切に保護するため、コッドエンド（魚捕り部）の網目拡大の必要性が指摘された（熊木ら, 2020）。網目拡大など資源管理方策を漁業現場に普及させるためには、管理を実施した場合に漁獲量、漁獲金額がどのように変わるのかを漁業関係者に提示することが重要である。これらの試算を行うには、アカムツの成長・成熟などの生物特性、自然・漁獲死亡などの資源特性値および市場価格などの情報が必要となる。

日本海におけるアカムツの成長や成熟については、南西海域（木部崎, 1949; 大内, 1956; 小嶋, 1976; 河野, 2010; 河野・小林, 2011; Choi *et al.*, 2012）および北部海域（本間ら, 2000; 大西, 2009）での報告はあるが、本府沖合を含む中部海域での知見は乏しい。またアカムツの資源特性については、日本海南西海域の沖合底曳網漁獲統計資料をもとにしたコホート解析および再生産に関する報告（今井ら, 2017）と韓国南岸での体長組成データなどをもとにした資源特性値の推定（Choi *et al.*, 2014）があるだけで、他海域においては皆無である。そこで、本研究では京都府沖合で採捕されたアカムツを用い、年齢と成長、成熟サイズの生物特性を明らかにするとともに、底曳網による漁獲物の体長組成などから推定した資源特性値をもとに、網目拡大を実施した場合の漁獲量および漁獲金額の変化を試算した。

## 材料と方法

**年齢と成長** 京都府沖合におけるアカムツの年齢と成長を推定するため、2017年9月と11月、2018年2月、4～5月、8～12月に同海域において駆け廻し式底曳網および桁曳網による試験操業を行い、アカムツを採集した。試験操業に用いた漁具、曳網方法および調査海域は熊木ら(2020)と同様である。採集したアカムツについては、全長(TL)、体長(BL)を1mm単位、体重(BW)を0.1g単位で測定するとともに、雌雄を判別し耳石を摘出した。本研究では雌210個体(BL 95～379mm)、雄115個体(BL 110～268mm)および雌雄の判別ができなかった41個体(BL 56～118mm)を供した。

Choi *et al.* (2012) は韓国南岸の日本海南西海域で採集したアカムツの耳石を用いて、年1回7～9月頃に透明帯が形成されることを示し、年齢と成長を推定した。また、轅川、酒井(2017)は対馬周辺海域のアカムツの耳石には年1回9月前後に輪紋が形成されるとした。このことから、耳石の輪紋を年輪と判断し、本研究では透明帯の内縁を指標輪とした。耳石の輪読は、原則として右側の扁平石を蒸留水に浸し、実体顕微鏡(オリンパス製SZ60)により10倍以上に拡大して表面法により行った。体長約200mm以上の個体(n=31)については、表面観察では輪読が困難であることから、横断薄層切片標本を作製した。標本の作製手順は以下のとおりである。耳石をエポキシ樹脂に包埋し、約24時間静置したのち、長軸に対して直角に交わる短軸方向へミクロトームを用いて約0.5mm厚で切断、さらに回転式砥石で約0.2mm厚まで研磨した。研磨した切片標本を熱ワックスでスライドガラスに貼り付け、実体顕微鏡(ニコン製SMZ1000)を用いて倍率20倍で輪読した。

アカムツの産卵期は対馬周辺海域で8～10月(河野、小林, 2011)、新潟県沖合で8～9月(大西, 2011)とされていることから、本研究では9月を誕生月とし、各個体の年輪数と採集月から小数点2桁の年齢を計算した。この年齢と体長をもとに、von Bertalanffy 式のパラメータを表計算ソフト Microsoft Excel のソルバーを用いて非線形最小二乗法(五利江, 2001)により成長曲線を推定した。なお、パラメータは雌雄ごとに推定したが、雌雄不明個体についてはそれぞれのデータに加えて解析した。

**成熟体長** 成熟体長の推定には、上述した材料のうち産卵期にあたる2017年9月および2018年9～10月に採集した雌60個体(BL 124～379mm)、雄52個体(BL 130～268mm)のデータを用いた。

成熟度については河野、小林(2011)に倣い、雌では卵巣が薄く針状または紐状で卵粒が確認できないもの(未熟)、卵巣が肥厚し淡黄色を呈し、卵粒が確認

できるもの(半熟)、卵巣が淡い黄金色を呈し、透明卵が認められるもの(完熟)、放卵が完了し、卵巣が萎縮したもの(スペント)の4段階を肉眼観察で判定した。雄では精巣が薄く、切断しても精液が滲み出さないもの(未熟)、精巣が肥厚し白色を呈するが、切断しても精液が滲み出さないもの(半熟)、精巣が肥厚し白色を呈し、切断すると精液が流れ出すもの(完熟)、放精が完了し、精巣が萎縮したもの(スペント)の4段階とした。このうち、雌では半熟、完熟およびスペント、雄では完熟とスペントの段階のものを生殖能力のある成熟個体とした。

体長階級ごとの供試個体に占める成熟個体の割合(以下、成熟率と称す)をもとに体長と成熟率との関係を Logistic 式にあてはめ、Microsoft Excel のソルバーを用いて最尤法(東海, 1997)により雌雄の成熟率が50%となる体長(以下、50%成熟体長と称す)を推定した。

**体長と価格の関係** 底曳網で漁獲されたアカムツは京都府漁業協同組合が開設する舞鶴、間人および網野の3市場へ出荷される。アカムツの取扱量は舞鶴市場が全体の約60%を占めることから、同市場における2014～2016年の9～10月の鮮魚売上明細書により体長と価格の関係を解析した。本明細書には入荷、販売された発泡箱ごとに1箱あたりの個体数、重量および販売金額が記載される。このデータをもとに発泡箱ごとの1個体あたり平均重量を計算し、後述する体長と体重との関係から体長別の1個体あたり販売金額を求めた。

**資源特性値の推定** 底曳網で漁獲され、市場へ出荷されるアカムツの体長組成を明らかにするため、舞鶴市場における2014～2018年9～10月の鮮魚売上明細書を用いた。熊木ら(2020)にしたがって、各銘柄の体長組成を取扱箱数で引き延ばして底曳網で漁獲されたアカムツの体長組成とした。

各年の漁獲体長組成と年齢査定による雌雄の age-length key をもとに、年齢別漁獲個体数を求めた。同一年級群の年齢別漁獲個体数の対数値をもとに、最小二乗法により全減少係数(Z)を推定した。自然死亡係数(M)は田内、田中の方法(田中, 1960)にしたがって  $M=2.5/\text{寿命}$  とした。また漁獲係数(F)は  $F=Z \cdot M$  により求めた。

**コッドエンドの網目拡大効果** 雌雄の0歳魚の資源尾数を  $R_{m,f}$  とすると、雌雄の漁獲量  $Y_{m,f}$  は式(1)～(2)で表される。

$$Y_{m,f} = R_{m,f} \sum_{i=1}^t S_{m,f,i}^i \frac{F_{m,f,i}}{(F_{m,f,i} + M_{m,f,i})} (1 - S_{m,f,i}) W_{m,f,i} \quad (1)$$

$$S_{m,f,i} = \exp - (F_{m,f,i} + M_{m,f,i}) \quad (2)$$

**Table 1** Age-length key for *D. berycoides*.

Body length (mm)	Female								Male							
	Age								Age							
	2	3	4	5	6	7	8	9	2	3	4	5	6	7	8	9
110 - 119	0.571	0	0	0	0	0	0	0	0.429	0	0	0	0	0	0	0
120 - 129	0.667	0	0	0	0	0	0	0	0.250	0.083	0	0	0	0	0	0
130 - 139	0.392	0.137	0	0	0	0	0	0	0.255	0.216	0	0	0	0	0	0
140 - 149	0.326	0.217	0	0	0	0	0	0	0.022	0.370	0.065	0	0	0	0	0
150 - 159	0.026	0.359	0	0	0	0	0	0	0	0.410	0.179	0	0	0	0	0
160 - 169	0.037	0.556	0	0	0	0	0	0	0	0.111	0.296	0	0	0	0	0
170 - 179	0	0.550	0	0	0	0	0	0	0	0	0.450	0	0	0	0	0
180 - 189	0	0.357	0.500	0	0	0	0	0	0	0	0	0.143	0	0	0	0
190 - 199	0	0	0.615	0.154	0	0	0	0	0	0	0.154	0.077	0	0	0	0
200 - 209	0	0	0.500	0.300	0	0	0	0	0	0	0	0.200	0	0	0	0
210 - 219	0	0	0.333	0.444	0.111	0	0	0	0	0	0	0.111	0	0	0	0
220 - 229	0	0	0	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230 - 239	0	0	0.125	0.375	0.375	0	0	0	0	0	0	0	0.125	0	0	0
240 - 249	0	0	0	0.200	0.200	0	0	0	0	0	0	0	0	0.600	0	0
250 - 259	0	0	0	0.067	0.667	0.200	0.067	0	0	0	0	0	0	0	0	0
260 - 269	0	0	0	0	0.273	0.455	0	0	0	0	0	0	0	0	0.091	0.182
270 - 279	0	0	0	0.333	0.333	0.333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
280 - 289	0	0	0	0	0.250	0	0.750	0	0	0	0	0	0	0	0	0
290 - 299				N.D.								N.D.				
300 - 309	0	0	0	0	0	0	0	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0

ここで、 $t$ は寿命、 $S_{m,f,i}$ 、 $F_{m,f,i}$ および $M_{m,f,i}$ は雌雄の年齢*i*の生残率、漁獲係数および自然死亡係数、 $W_{m,f,i}$ は雌雄の年齢*i*の平均体重である。 $F_{m,f,i}$ および $M_{m,f,i}$ は雌雄、年齢によらず一定とした。

網目拡大による効果は、熊木ら(2020)のlogistic式によるマスターカーブのパラメータをもとに雌雄の年齢*i*の平均体長における網目選択率 $\delta_{m,f,i}$ を計算し、これを上式(1)~(2)の $F_{m,f,i}$ に乗じて求めた。

また、雌雄の年齢*i*の平均体長における平均価格を $P_{m,f,i}$ とし、漁獲個体数にこれに乗じて漁獲金額を計算した。漁獲量および漁獲金額は雌雄別に計算し、雌雄の合計値とした。

**アカムツ漁場での魚種別漁獲状況** アカムツを漁獲対象とした操業において網目拡大を行う場合には、同時に漁獲される他魚種への影響を考慮する必要がある。そこで、京都府沖合のアカムツ漁場(京丹後市経ヶ岬沖から福井県境までの水深100~180m域)で漁獲される他魚種の漁獲量および漁獲金額の割合を推定するため、府内底曳網漁業者が2014~2018年の9~10月に記帳した操業日誌延7隻分を解析に供した。魚種別の漁獲量割合は操業日誌に記載された重量単位のデータにより計算した。漁獲金額の割合は2014~2018年9~10月の京都府漁協鮮魚売上明細書から計算した魚種別の平均単価(円/kg)を上述の漁獲量に乗じて求めた。

**結果**

**年齢と成長** 耳石を用いたアカムツの年齢査定の結果、供試個体の最高年齢は雌で13歳、雄で9歳であっ

た。年齢と体長のデータに基づく雌雄の年齢*i*と年齢別体長 $BL_i$ (mm)との関係は、それぞれ式(3)と(4)のとおり推定された。

$$\text{雄: } BL_i = 311.9 \times (1 - \exp(-0.1993(i + 0.2248))) \quad (3)$$

$$\text{雌: } BL_i = 351.8 \times (1 - \exp(-0.1951(i + 0.3036))) \quad (4)$$

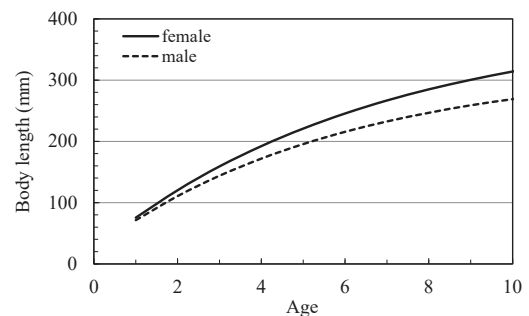
上式に基づく雌雄の成長曲線をFig.1に示した。雌は雄よりも速く成長して9歳で概ね体長300mmになる。一方、雄は10歳でも体長270mm前後と算定された。また、年齢査定の結果より作成した雌雄のage-length keyをTable 1に示した。雌雄の体長 $BL$ (mm)と体重 $BW$ (g)および $BL$ と全長 $TL$ (mm)との関係は、式(5)~(7)のアロメトリー式および直線回帰式で表された。

$$\text{雄: } BW = 5.0 \times 10^{-5} \times BL^{2.902} \quad (r^2=0.992, n=132) \quad (5)$$

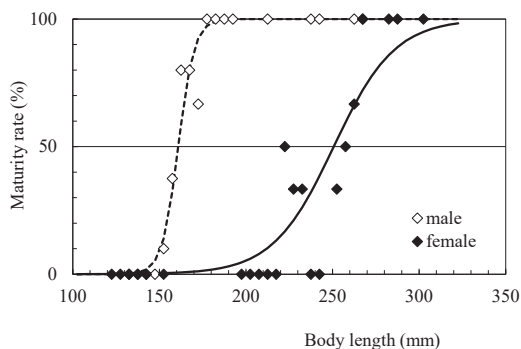
$$\text{雌: } BW = 5.0 \times 10^{-5} \times BL^{2.874} \quad (r^2=0.995, n=178) \quad (6)$$

$$\text{雌雄: } TL = 1.156 \times BL + 10.617 \quad (r^2=0.996, n=366) \quad (7)$$

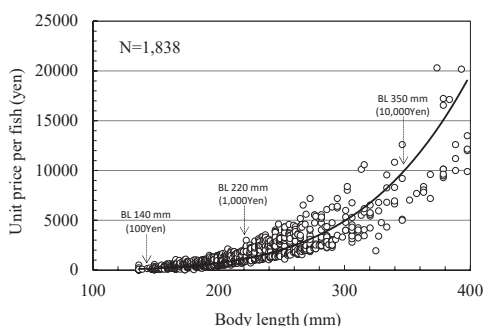
**成熟体長** 雌雄の体長ごとの成熟率および体長と成熟率の関係を表すLogistic曲線をFig.2に示した。最小



**Fig.1** Estimated growth curves of body length by von Bertalanffy's growth equations in *D. berycoides*.



**Fig.2** Frequency occurrences of maturity rate for male and female in *D. berycoides* for each body length classed as 5 mm intervals. Sigmoid curves were expressed as a logistic equation.



**Fig.3** Relationship between body length and unit price per fish, *D. berycoides*, in the Maizuru fish market.

成熟体長は雄で 156 mm, 雌で 222 mm であった。また 50% 成熟体長は, 雄で 161 mm, 雌では 251 mm と推定され, 雄の方が雌より小型で成熟する結果を得た。**体長と価格の関係** アカムツの体長  $BL$  (mm) と 1 個体あたりの価格  $P$  (円) との関係は, 次のアロメトリー式で表された。

$$P = 6.0 \times 10^{-9} \times BL^{4.8042} \quad (r^2=0.829, n=1,838) \quad (8)$$

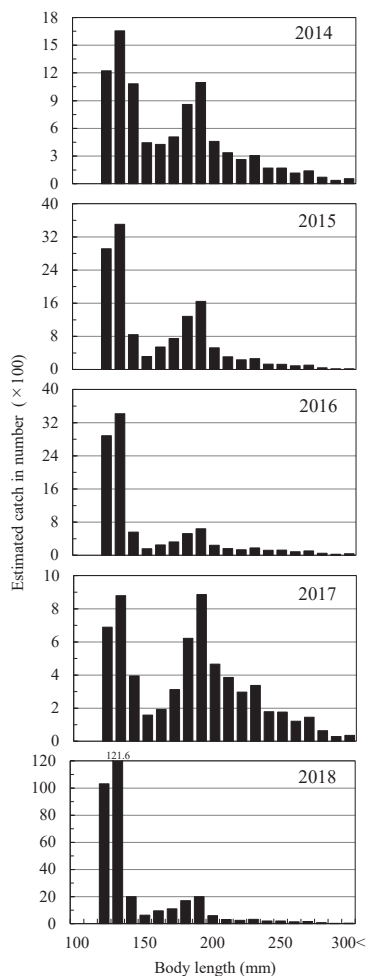
式 (8) に基づく体長と単価との関係を Fig.3 に示した。体長ごとの価格には変動がみられたが, 当てはめた近似曲線から体長 140 mm 未満, 220 mm および 350 mm ではそれぞれ 1 個体あたり 100 円以下, 約 1,000 円および 10,000 円であり, 体長が大きくなると単価は大幅に上昇した。

**Table 2** Estimated catch in number (ln) in 2-7 age groups of *D. berycoides* in Maizuru fish market.

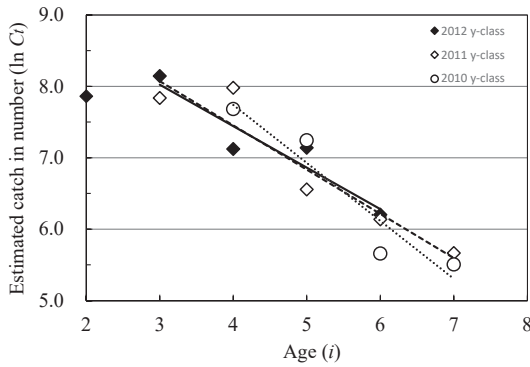
Age	Year				
	2014	2015	2016	2017	2018
2	7.861	8.568	8.530	7.207	9.802
3	7.838	8.145	7.795	7.126	9.067
4	7.683	7.979	7.124	7.410	8.261
5	7.140	7.243	6.556	7.140	7.420
6	6.078	5.847	5.659	6.137	6.204
7	5.471	5.192	5.153	5.506	5.665

**資源特性値の推定** 2014～2018年に, 底曳網により漁獲され舞鶴市場に水揚げされたアカムツの体長組成を Fig.4 に示した。体長組成には 120～140 mm と 180～190 mm の 2 つのモードがみられた。体長 120～140 mm の推定漁獲個体数は 19,600～244,700 個体, 構成比で 30.8～73.6% となり, 年変動はあるもののこれら小型魚が漁獲の主体であった。

2014～2018年の体長階級ごとの推定漁獲個体数と age-length key (Table 1) をもとに, 年齢別漁獲個体数  $C_i$  を計算し, その対数値 ( $\ln C_i$ ) を Table 2 に示した。なお, 供試個体数の少ない高齢魚の推定精度を考慮して, Table 2 には 7 歳までの個体数を示した。本府沖合の底曳網漁業では体長 100 mm 未満のアカムツは海上でリリースされるが (熊木ら, 2020), この中には体長 120 mm 前後の個体も含まれている (未発表)。体長 120 mm 前後の個体は本研究結果から 2 歳と判断されることから, 2 歳では完全漁獲加入しておらず, 推定漁獲個体数は過小評価となる可能性がある。そこで, 完全漁獲加入する 3～7 歳のデータを用いて, 各年級群の  $Z$  を推定した (Fig.5)。2010 年級群は 4～7



**Fig.4** Body length compositions of *D. berycoides* caught by commercial Danish seine fishing method and sold in Maizuru fish market.



**Fig.5** Estimated catch in number (ln) in each age for three-year classes. Open circle and open and solid diamonds indicate 2010, 2011, and 2012 year classes, respectively.

歳, 2011年級群は3~7歳および2012年級群は3~6歳の年齢別漁獲個体数をもとに, 各年級における回帰式(式9~11)を得た。

$$2010 \text{ 年級群: } \ln C_i = -0.811i + 10.984 \quad (r^2=0.903) \quad (9)$$

$$2011 \text{ 年級群: } \ln C_i = -0.619i + 9.928 \quad (r^2=0.901) \quad (10)$$

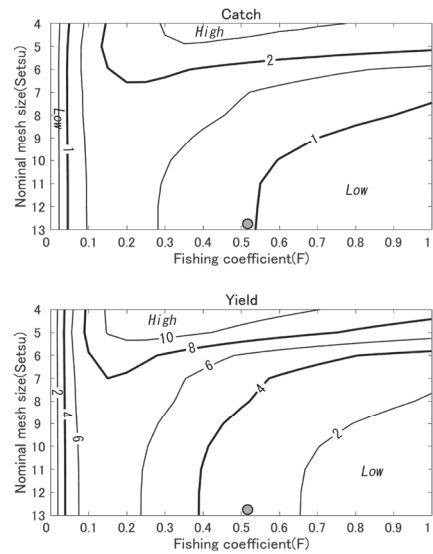
$$2012 \text{ 年級群: } \ln C_i = -0.581i + 9.766 \quad (r^2=0.894) \quad (11)$$

3つの年級群のZは, 上式の回帰直線の傾きから0.581~0.811, 平均0.670と推定された。

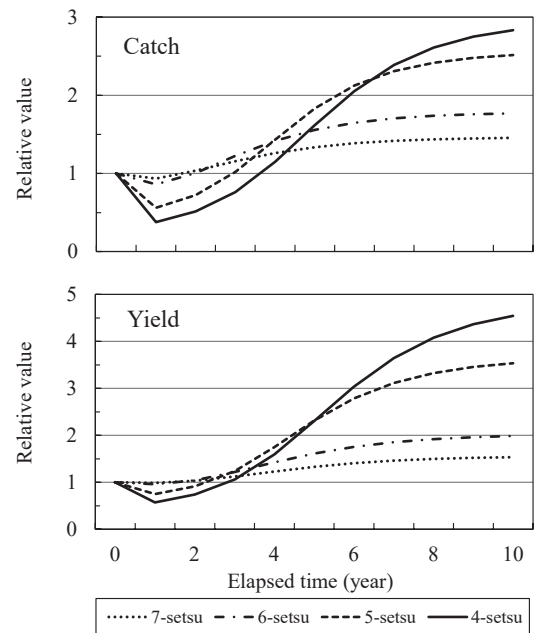
本研究の年齢査定において, 最高年齢は雌で13歳, 雄で9歳であった。このことから本府沖合でのアカムツの寿命を15年と設定し, 自然死亡係数  $M=2.5/15=0.167$  を得た。また漁獲係数  $F=Z-M$  により,  $F$  は0.414~0.644, 平均で0.503と推定された。以後の解析では, 平均値0.503を  $F$  の現状値とした。

**コッドエンドの網目拡大効果**  $F$  とコッドエンドの目合を現状の13節(内径約25mm)から4節(内径101mm)に変化させた場合の等漁獲量曲線および等漁獲金額曲線をFig.6に示した。なお,  $t$  は15年とした。漁獲量および漁獲金額は, 図中に丸印で表した現状の  $F$  値0.503および13節よりも  $F$  を削減あるいは網目を拡大することで増加した。最大級の漁獲量は  $F$  をほぼ現状の0.5前後で5節(内径約77mm)以上に拡大したとき, 最大級の漁獲金額は  $F$  を0.3まで引き下げて5節以上に拡大したときであった。

府内底曳網のコッドエンド目合を現状の13節から7節(内径約49mm), 6節(内径約57mm), 5節および4節に拡大した場合の漁獲量, 漁獲金額の年ごとの推移をFig.7に示した。漁獲量と漁獲金額について



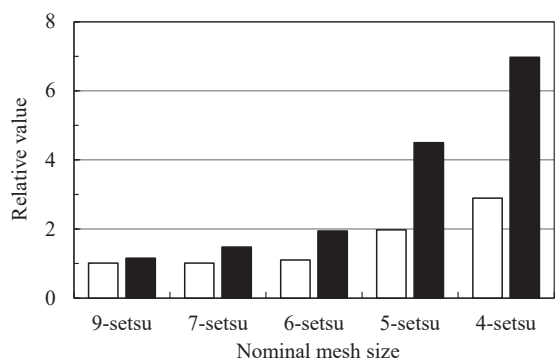
**Fig.6** Contour of catch (upper) and yield (lower) of *D. berycoides* against fishing coefficient ( $F$ ) and nominal mesh size (Fushi). Open circle indicates the present fishing condition. The contour intervals for catch and yield are 0.5 and 2, respectively.



**Fig.7** Simulated result of catch and yield of *D. berycoides* at elapsed time in year after enlarged cod-end mesh size. Explanatory notes indicate nominal mesh size.

**Table 3** Proportions of catch and yield of major species in the fishing ground of *D. berycoides* off Kyoto prefecture from September to October, 2014-2018.

species	<i>D. berycoides</i> (Akamutsu)	<i>L. litulon</i> (Kiankou)	<i>T. kitaharai</i> (Yanagimushigarei)	<i>D. tumifrons</i> (Kidai)	<i>G. semifasciatus</i> (Nigisu)	<i>E. grigorjewi</i> (Mushigarei)	Other species
catch (%)	9.5	21.1	7.8	16.2	23.8	7.9	13.7
yeild (%)	46.7	13.5	8.6	7.8	5.5	4.9	13



**Fig.8** Relative value of stock of *D. berycoides* mature female older than age 6 at 5 and 10 years after enlarged cod-end mesh size. Open and solid columns indicate 5 and 10 years, respectively.

は、*F*の現状値 0.503 および目合 13 節を基準とする相対値で示した。漁獲量は 5 節および 4 節でそれぞれ網目拡大の実施 2 年後および 3 年後までは現状を下回った。しかし、10 年後には 7 節で約 1.5 倍、6 節で約 1.8 倍、5 節で約 2.5 倍および 4 節で約 2.8 倍に増加した。漁獲金額は漁獲量と同様に 5 節および 4 節で網目拡大の実施 2 年後までは現状を下回ったが、10 年後には 7 節で約 1.5 倍、6 節で約 2 倍、5 節で約 3.5 倍および 4 節では約 4.5 倍に増加した。

網目拡大による雌親魚の資源量増加割合を検討するために、現状の 13 節から 7 節、6 節、5 節および 4 節にした場合の 5 年後、10 年後の資源増加割合を Fig.8 に示した。なお、雌の 50% 成熟体長となる 251 mm (Fig.2) は成長曲線 (Fig.1) から 6 歳と判定されたので、6 歳以上を雌親魚とした。雌親魚量は網目拡大 5 年後には 5 節で現状の約 2 倍、4 節で約 2.9 倍、10 年後には 6 節で約 1.9 倍、5 節で約 4.5 倍および 4 節で約 7 倍に増加した。9 節では 10 年後であっても約 1.2 倍に留まった。

**アカムツ漁場での魚種別漁獲状況** アカムツ漁場で漁獲される主な他魚種はニギス *Glossanodon semifasciatus*, キアンコウ *Lophius litulon*, キダイ

*Dentex tumifrons*, ムシガレイ *Eopsetta grigorjewi* およびヤナギムシガレイ *Tanakius kitaharai* などであった (Table 3)。魚種別の漁獲量ではニギスが 23.8% と最も多く、次いでキアンコウ 21.1%, キダイ 16.2%, アカムツ 9.5%, ムシガレイ 7.9% およびヤナギムシガレイ 7.8% であり、これら 6 魚種で全体の約 90% を占めた。漁獲金額ではアカムツが 46.7% と約半分を占め、次いでキアンコウ 13.5%, ヤナギムシガレイ 8.6%, キダイ 7.8%, ニギス (5.5%) およびムシガレイ (4.9%) であった。

## 考 察

本研究では耳石を用いたアカムツの年齢査定を行い、最高年齢は雌で 13 歳、雄で 9 歳であった。日本海におけるアカムツの年齢は、南西海域では鱗 (小嶋, 1976; 河野, 2010) および耳石 (Choi *et al.*, 2012), 北部海域では鱗 (大西, 2009) の表面観察により査定されている。最高年齢は、南西海域では鱗による査定で雌が 6 歳、雄が 4 歳 (小嶋, 1976; 河野, 2010), 耳石による査定で雌が 6 歳、雄が 5 歳 (Choi *et al.*, 2012), 北部海域では鱗による査定で雌が 8 歳、雄が 4 歳 (大西, 2009) であり、両海域とも本研究と比べて低い。鱗による年齢査定では、いずれの海域とも輪紋が比較的明瞭な個体を調査対象とした可能性がある。耳石による年齢査定 (Choi *et al.*, 2012) では供試魚の最大全長が雌で 337 mm, 雄で 259 mm で、体長-全長関係式から体長に換算するとそれぞれ 281 mm および 213 mm となり、雌 6 歳、雄 5 歳以上の個体を査定していないものと推定される。また、轅川, 酒井 (2017) は対馬周辺海域で採集されたアカムツの耳石横断薄層切片から輪読を行い、最高年齢を雌が 8 歳、雄が 5 歳とした。この報告の供試魚に関する詳細は不明であるが、これ以上の高齢魚の試料が含まれていなかったと考えられる。本研究では、輪読が困難となる高齢魚を対象に耳石横断薄層切片の標本を作製したことで、これまでの報告より高齢魚の査定ができたと考ええる。

**Table 4** Comparison of age and body length (mm) among locations of *D. berycoides* in the Sea of Japan.

Age	Male					Female					
	South western Sea of Japan			Northern Sea of Japan	off Kyoto Pref.	South western Sea of Japan			Northern Sea of Japan	off Kyoto Pref.	
	Kojima (1976)	Choi <i>et al.</i> (2012)	Kawano (2010)	Onishi (2009)	this study	Kojima (1976)	Choi <i>et al.</i> (2012)	Kawano (2010)	Onishi (2009)	Honma <i>et al.</i> (2000)	this study
1	73	95	70	68	72	72	69	80	82	57	76
2	123	132	118	110	111	134	119	135	126	123	121
3	166	159	156	145	144	184	157	178	163	175	159
4	200	179	186	174	172	227	187	212	195	218	193
5	223	192			196	254	210	238	223	251	221
6					216	274	228	259	247	278	246
7					233	288			267	300	267
8					247	298			285	317	285
9					259	305				330	301
10					269	310				341	314

日本海におけるアカムツの成長について、本研究結果と既往の知見も含めた雌雄別の年齢と体長との関係を Table 4 に示した。なお、既存の報告は全長で表示されているため、(7)式により体長に変換した。八木(2016)によると、アカムツの成長は雌の方が雄より速く、また雌雄ともに北部海域より南西海域の方が速いとされている。本研究でも2歳時から雌の成長が雄を上回っており、体長300 mmを超える個体は雌のみ出現した。また、京都府沖合と日本海北部海域の新潟県沖合(大西, 2009)では年齢と体長との関係が類似していたことから、日本海の新潟県から京都府に至る海域に分布するアカムツの成長様式はほぼ同様と推察される。ただし、若齢期の成長は資源密度に依存しており、資源密度が高いときには抑制され、低いときには促進されることから(小嶋, 1976)、資源密度の違いが生じた場合には、アカムツの成長にも差が認められる可能性がある。

日本海におけるアカムツの成熟について、既往の知見によると南西海域の最小成熟体長は雄で118 mm、雌で223 mm(河野, 小林, 2011)、北部海域の山形県沖合では雄で約160 mm、雌で約250 mm(本間ら, 2000)である。本研究では生殖腺の肉眼観察から最小成熟体長が雄で156 mm、雌で222 mmと推定され(Fig.2)、雌は南西海域、雄は山形県沖合の成熟様式とほぼ同様であった。なお、河野, 小林(2011)による南西海域における雄の最小成熟体長が京都府沖合より約40 mm小さかった理由として、組織学的観察をしたことで肉眼観察をした本研究よりも小型個体の成熟判断ができたためと推測される。

底曳網により漁獲された2014~2018年のアカムツ体長組成は、120~140 mmの小型魚が主体(構成比30.8~73.6%)であった(Fig.4)。最小成熟体長を鑑みると、現在の漁業は産卵親魚になる前の未成熟個体を主体に漁獲しており、いわゆる成長乱獲の可能性が極めて高い。また、これら小型魚の価格は1個体あたり100円未満と安く、価格は体長が大きくなるにしたがい指数関数的に高くなることから(Fig.3)、資源の利用形態としては非効率である。

将来的に漁獲量および金額を増加させるには、 $F$ の削減や網目の拡大等により資源を保護する必要がある。 $F$ の削減については、漁期の短縮や1航海あたり曳網回数の縮減などが考えられる。アカムツ漁の主漁期は9~10月で、なかでも解禁直後の第1, 2航海で多く水揚げされ、それ以降には漸減する(海洋センター, 2020)。このように短期集中で漁獲される場合には、単純な漁期の短縮や曳網回数の縮減による $F$ の削減は期待できない。日本海南西海域の沖合底曳網によるアカムツ漁業では、小型魚が多く分布する海域を随時明らかにしたうえで、その海域を機動的に操業禁止とし、小型魚に対する $F$ の削減が図られている

(道根, 2015)。対象漁場は島根県沖合から対馬周辺まで広範囲であるため、一部の海域で操業禁止になっても他の海域で操業できる。しかし、京都府沖合におけるアカムツ漁場の範囲は狭く、しかも小型魚と体長約200 mm以上の大型魚が同時に漁獲されることから、上述のような操業禁止区域の設定による小型魚に対する $F$ の削減は困難である。

そこで、本研究では小型魚の漁獲を防止するための網目拡大による本種の漁獲量および漁獲金額の変化を試算した(Fig.6)。コッドエンドの網目を拡大すれば、現状の漁獲係数( $F=0.503$ )であっても4~5年目以降、7節から4節まで大きい網目ほど漁獲量および漁獲金額は経年的にみて増加した(Fig.7)。さらに、より大きい網目ほど雌親魚量が増加し(Fig.8)、現状よりも健全な再生産が確保できる可能性が高まる。現在のアカムツ漁業は未成熟魚の多獲による成長乱獲と考えられることから、小型魚だけではなくより早期に親魚量を増やすことも重要である。アカムツのマスターカーブのパラメータ(熊木ら, 2020)から、コッドエンドの目合が5節以上であれば多獲状態にある体長120~140 mmの小型魚の90%以上の保護が期待できる。さらに、雌の最小成熟体長となる約220 mmの個体の10%以上、雄に至っては最小成熟体長となる約150 mmの個体の80%以上が保護され、親魚量の増加にも有効と考えられる。したがって、アカムツを漁獲対象にした操業では、少なくとも5節以上のコッドエンドにすることが資源管理上望ましい。

アカムツ資源の成長乱獲を防止するための網目拡大を行うことにより、同じ漁場で漁獲される他の有用種への影響について考察する。漁獲金額ではアカムツが最も高く、次いでキアンコウ、ヤナギムシガレイ、キダイ、ニギス、ムシガレイの順であった(Table 3)。キアンコウについては、出荷される魚体の頭部の大きさが4節の網目内径より大きく、網目から逃避することはない。ヤナギムシガレイではアカムツと同様に成長乱獲が指摘されており(山崎ら, 2001)、その対策として6節への網目拡大の有効性が示されている(野口ら, 2017)。この場合、ニギスおよびマアナゴが全て網目から抜けるため漁獲金額は減少するが、ヤナギムシガレイの漁獲量増加により網目拡大の開始3年後には増額に転じる(野口ら, 2017)。なお、ヤナギムシガレイの5節の50%選択体長はマスターカーブのパラメータ(山崎ら, 2001)から223 mmと計算され、この体長は漁獲物組成の中でも最大長に近いことから、5節以上の網目拡大による資源管理と漁業経営との両立は難しい。キダイについては、網目選択性試験の結果から5~6節で尾叉長100 mm以下の小型魚の保護が可能であることが示されている(大慶, 1998)。また、ムシガレイではほぼ同型のソウハチ *Hippoglossoides pinetorum* の網目選択性から、水揚

げの基準体長 150 mm を 50% 選択体長とする網目内径は 65.3 mm (宮嶋, 2013) であり, これは 5 ~ 6 節に相当する。よって, コッドエンドの目合を 5 節以上にすることで, 漁業経営で重要な位置を占めるアカムツをはじめ, ヤナギムシガレイを除く他の有用種についても成長乱獲の防止につながると考えられる。

底曳網漁業の対象となる底魚類については, 魚種により昼夜で漁獲量が異なることが知られており (最首ら, 1960; Verheijen and Degroot, 1967; Walsh, 1988; 松岡ら, 1992; Pillar and Barange, 1997; Petrakis *et al.*, 2001), アカムツは昼間に多く (未発表), ヤナギムシガレイは夜間に多い (藤原ら, 2009)。前段でヤナギムシガレイを対象にした実操業において 5 節以上の網目拡大は現実的ではないとしたが, アカムツの漁獲割合が高い昼間にはコッドエンドの目合を 5 節以上, ヤナギムシガレイの漁獲割合が高い夜間には 6 節にすることで, それぞれの対象資源に適したより効率的な管理が可能となる。

アカムツの小型魚多獲による成長乱獲や不合理な資源利用については, 日本海においてアカムツの漁獲量が最も多い南西海域でも指摘されている (今井, 2014; 今井ら, 2017)。また, アカムツは季節的な深浅移動をすることが知られているが (八木, 2016), 東西への水平移動に関する情報は皆無である。今後は資源の分布や移動範囲, 動態を明らかにし, 複数府県によるアカムツの持続的かつ効果的な利用について, 今回提案したコッドエンドの網目拡大のようなテクニカル・コントロールのほか, インプット・コントロールやアウトプット・コントロールの導入も含めて検討する必要がある。

本研究の実施にあたり, 京都府立海洋高等学校の実習船「みずなぎ」の船舶職員, 京都府の底曳網漁業者および漁業協同組合の皆様には, 本稿にかかる生物試料や操業情報の収集にご協力をいただきました。また, 水産研究・教育機構 水産資源研究所資源研究センター (新潟拠点) の八木佑太博士には, 耳石の横断薄層切片標本作製などアカムツの年齢査定に関するご指導, ご支援をいただきました。心よりお礼申し上げます。

## 文 献

Choi JH., Choi SH., Kim YH., Lee DW., Ryu DK. 2012. Age and growth of Blackthroat seaperch *Doederleinia berycoides* in the south Sea of Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, **45**: 246-252.

Choi JH., Choi SH., Lee DW., Ryu DK. 2014. Population ecology of Blackthroat seaperch *Doederleinia berycoides* in the southern Sea of Korea. *Kor. J. Fish. Aquat. Sci.*, **47**: 901-907.

藤原邦弘, 宮嶋俊明, 山崎淳. 2009. ヤナギムシガレイ *Tanakius kitaharai* の採集個体数と遊泳行動の

昼夜による違い. 日水誌, **75**: 779-785.

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.

本間仁一, 石向修一, 菅原雅直, 秋野亨. 2000. アカムツ資源生態調査. 山形県水試事業報告: 15-18.

今井千文. 2014. 日本海西部における漁業の現状と課題. 水産工学, **50**: 185-190.

今井千文, 道根淳, 村山達朗. 2017. 日本海西部海域産アカムツの資源動態. 水大校研報, **65**: 217-222.

河野光久. 日本海南西山口県沖におけるアカムツの年齢と成長. 2010. 山口県水研センター研報, **8**: 45-47.

河野光久, 小林知吉. 2011. 対馬海峡におけるアカムツの成熟および産卵. 山口県水研センター研報, **9**: 119-123.

木部崎修. 1949. 日本海西南海区産アカムツの生態的研究. 年齢及生長. 日水誌, **15**: 221-225.

小嶋喜久雄. 1976. 日本海西南海域産アカムツの年齢と成長. 西水研研報, **48**: 93-111.

熊木豊, 山崎淳, 野口俊輔. 2020. 底曳網で漁獲されるアカムツの網目選択性. 京都海七研報, **42**: 9-16.

京都府農林水産技術センター海洋センター. 2020. アカムツ (のどぐろ) の資源管理. 季報, **113**: 1-14.

道根淳. 2015. 沖合底びき網漁業におけるアカムツ若齢魚保護の取り組み. ビジネスモデル研究会ニュースレター, **17**: 6-7.

松岡正信, 時村宗春, 藤田 轟, 北島忠弘. 1992. 東シナ海におけるトロール漁獲物組成の昼夜差に関する一考察. 西水研研報, **70**: 1-9.

宮嶋俊明. 2013. 京都府の駆け廻し式底曳網漁業における混獲削減技術の開発に関する研究. 京海七研究論文, **10**: 1-50.

織川亜希子, 酒井猛. 2017. 対馬周辺海域におけるアカムツの年齢・成長. 平成 29 年度日本水産学会春季大会要旨集, 32.

野口俊輔, 宮嶋俊明, 岩尾敦志. 2017. 京都府沖合海域におけるヤナギムシガレイの資源解析および網目拡大の効果. 京海七研報, **39**: 9-15.

大西健美. 2009. 新潟県沿岸域におけるアカムツの年齢と成長及び産卵期. 新潟県水産海洋研究所研報, **2**: 15-20.

大慶則之. 1998. タイ科投棄魚の削減をめざした小型底びき網の改良. 石川県水産総合センター研究報告, **1**: 23-29.

大内明. 1956. 重要魚族の漁業生物学的研究. 日水研研報, **4**: 217-224.



- Petrakis G., MacLennan DM., Newton AW. 2001. Day-night and depth effects on catch rates during trawl survey in the North Sea. *ICES J. Mar. Sci.* **58**: 50-60.
- Pillar SC., Barange M. 1997. Diel variability in bottom trawl catches and feeding activity of the Cape hakes off the west coast of South Africa. *ICES J. Mar. Sci.* **54**: 485-499.
- 最首光三, 小島喜久雄. 1960. 東海・黄海における底棲魚類の生態 - I. 垂直移動について. 西水研研報, **19**: 1-24.
- 田中昌一. 1960. 水産生物の Population Dynamics と 漁業資源管理. 東水研研報, **28**: 1-200.
- 東海正. 1997. MS-Excel のソルバーによる曳網の網目選択性 Logistic 式パラメータの最尤推定. 水産海洋研究, **61**: 288-298.
- Verheijen FJ., Degroot SJ. 1967. Diurnal activity pattern of plaice and flounder (Pleuronectidae) in aquaria. *Neth. J. Sea Res.*, **3**: 383-390.
- Walsh SJ. 1988. Diel variability in trawl catches of juveniles and adult yellowtail flounder on the Banks and the effect on resource assessment. *North Amer. J. Fish. Mang.*, **8**: 373-381.
- 八木佑太. 2016. アカムツの生物特性と漁業. 豊かな海, **40**: 9-12.
- 山田梅芳, 時村宗春, 堀川博史, 中坊徹次. 2007. アカムツ. 東シナ海・黄海の魚類誌, 東海大学出版会: 556-561.
- 山崎淳, 大木繁, 飯塚覚. 2001. 桁曳網試験操業によるヤナギムシガレイの網目選択性. 日水誌, **67**: 1082-1088.

