

底曳網で漁獲されるアカムツの網目選択性

熊木 豊, 山崎 淳, 野口 俊輔

The effects of mesh size on black-throat seaperch
Doederleinia berycoides size caught by bottom trawl

Yutaka Kumaki, Atsushi Yamasaki and Shunsuke Noguchi

The standing stock of black-throat seaperch *Doederleinia berycoides*, an important species caught in a commercial Danish seine fishery in Kyoto prefecture, may have decreased because of a high proportion of juvenile fish being caught as bycatch.

To reduce juvenile bycatch, we performed covered cod-end experiments with three meshes (35.6 mm, 48.6 mm, and 76.6 mm) attached to a seine net aboard the training ship ‘Mizunagi’ and a beam trawl aboard R/V ‘Heian-Maru.’ We discuss the optimal mesh size for stock management of this species.

キーワード: アカムツ 底曳網 網目選択性 マスターカーブ

アカムツ *Doederleinia berycoides* は、口蓋内が黒いことからノドグロとも呼ばれるホタルジャコ科の魚で、日本近海では北海道以南の大陸棚および陸棚縁辺に広く分布し、特に日本海側の島根県以西から対馬海域にかけて生息密度が高い（大内, 1956）。本種は美味で高値で取引されていることから、日本海では山陰や北陸地方を中心に沖合底びき網漁業および小型機船底びき網漁業（以後、底曳網漁業）、刺網漁業などで盛んに漁獲されている。

京都府漁業協同組合（以後、府漁協）の漁獲統計資料によると、京都府のアカムツ漁獲量は1990-2000年代前半に毎年1トン前後で推移していたが、2005年以降2トン以上となり、2018年には過去最高の8.3トンを記録した。府内の本種漁獲量の90%以上は底曳網漁業によるものであり、特に6-8月の禁漁期間が明けると9-10月の秋漁期にまとまって漁獲される。ただし、その日別漁獲量は解禁直後の9月初旬をピークに以後操業を重ねるごとに漸減することから、資源状態が脆弱な可能性がある。また、水揚げされたアカムツの過半数が体長100-150mmの小型個体で占められることが多い。日本海に生息する本種の150mm未満は2歳以下でほぼ未成熟であること（小嶋, 1976; 大西, 2009; 河野, 2010; 河野, 小林, 2011）、これらの魚価は成魚に比べて極めて安いことから、成長乱獲や潜在的な収益損失につながる不合理な漁獲である可能性が高い。アカムツを水産資源として持続的に利用するには、小型個体を適切に保護することが望ましい。

小型個体の保護策としては、船上に水揚げされた小型個体を素早く丁寧にリリースする方法がある。本府においても商品価値のない体長100mm未満の個体はリリースされているが、本種は水揚げされた時点で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。よって、小型個体を水揚げしないことが、実効性のある保護策の前提となる。

本種の資源管理については、島根県の底曳網漁業者が小型個体の多い海域を機動的に一定期間禁漁区とする先進的な取り組みを実践している（金坂, 2017）。これは、島根県水産技術センターが開発した水温、塩分等の海洋環境や漁獲情報からアカムツ小型個体の分布を予測するシステムに基づいて保護区を設定するもので、漁獲金額を大幅に減らすことなく小型個体の混獲を一定程度削減している。

一方、府内の底曳網漁業によるアカムツ漁場は、府沖合の限られた海域であるため、狭い漁場内で禁漁区を設定するのは現実的ではない。よって、府内の底曳網関係者が島根県の取り組みに倣ったアカムツ管理手法を実践するのは難しいといえる。底曳網の曳網時に有用水産魚種の小型個体を選択的に保護する手段として、コッドエンド（魚捕り部）やその周辺部位の網目拡大により小型個体を網外に逃避させる方法が効果的である（例えば、宮嶋, 2015）。アカムツの網目選択性については、黄海・東シナ海では築ら（1999）や楊ら（2016）の報告がある。日本海では山形県水産試験場（2006）の報告があるが、2種類の目合だけの結果であるため、さらなる検討

の必要がある。

そこで、本研究では目合の異なる3種類のコードエンドでカバーネット法による操業試験をおこない、各目合内径の網目選択性曲線を推定した。また、マスターカーブを推定することにより、小型個体の混獲を軽減するための適正なコードエンド目合について検証した。

材料と方法

カバーネット操業試験 2016年7月12日から2018年12月10日までに、若狭湾西部海域120-180 m深 (Fig.1) において、駆け廻し式底曳網および桁曳網による延べ32回のカバーネット操業試験を実施した (Table 1)。前者では京都府立海洋高等学校の実習船「みずなぎ」(258トン)を、後者では京都府農林水産技術センター海洋センターの海洋調査船「平安丸」(183トン)をそれぞれ使用した。現在、本府でアカムツを対象とした底曳網漁業で用いられているコードエンドの目合内径は25 mm (呼称目合13節)である。そこで、駆け廻し式底曳網では目合内径48.6 mm (呼称目合7節) または76.6 mm (呼称目合5節)、桁曳網では目合内径48.6 mm または35.6 mm (呼称目合9節)のコードエンドを使用した。また、コードエンドの外周を覆うように目合内径19.5 mm または23.3 mmのカバーネットを装着した。なお、網地には呼称目合で表示された市販品を用い、無作為に選んだ10-20箇所の網目をデジタルノギスにより0.1 mm単位で測定した平均値を目合内径として表記した。また、カバーネットの存在がコードエンドの網目を抜ける魚の行動を阻害しないようにするため、山崎ら (2001) に倣ってカバーネット長をコードエンド長の1.6倍以上とした。両漁具の仕様をFig.2,3に示した。

操業試験では、駆け廻し式底曳網で船速4-5ノット、桁曳網では船速2-3ノットで1回あたり30-40分曳網した。揚網後にコードエンドとカバーネットそれぞれに入網したアカムツを船上で分別し、全個体の下顎前端部から下尾骨後端部までの長さ (以後、体長 L) をデジタルノギス、体胴周長 G をメジャーにより1 mm単位で測定した。体胴周長の測定部位については、最大周長を示す第1背鰭基部付近を通過する胴周部とした。線形回帰により体長 (L) と体胴周長 (G) との関係式を求めた。

本研究では2種類の曳網漁具で合わせて3種類のコードエンドを用いた操業試験を実施したが、同じ目合のコードエンドに遭遇したアカムツの行動に漁具間の相違はないものとみなして解析した。

解析方法 駆け廻し式底曳網および桁曳網のコードエンドおよびカバーネットに入網したアカムツ

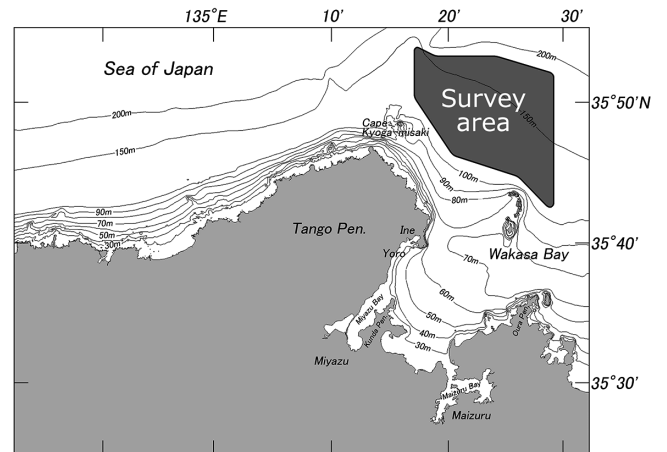


Fig. 1 Survey location, Kyoto coast.

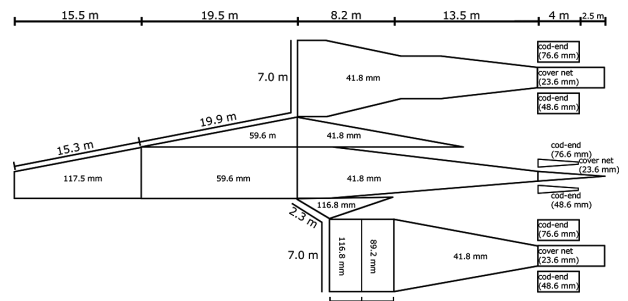


Fig. 2 Danish seine net design and specifications.

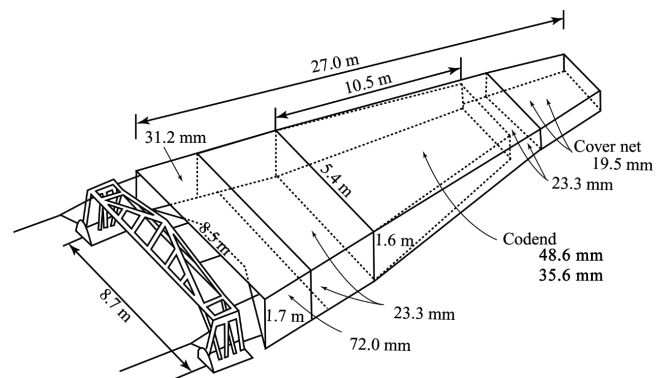


Fig. 3 Beam trawl design and specifications.

のうち、カバーネットまで到達せずにコードエンドに滞留した個体の割合を網目選択率とし、3種類のコードエンドの目合ごとに5 mm 間隔の体長階級で集計した。これら体長と網目選択率との関係を示した離散値から、コードエンドの目合ごとに網目選択性曲線を求めた。各選択性曲線は、ヤナギムシガレイ *Tanakius kitaharai* の網目選択性を考察した山崎ら (2001) と同様に、次式 (1) および (2) で表されるロジ

Table. 1 Number of *Doederleinia berycoides* caught in covered cod-end experiments using different fishing gears and mesh size.

Month/Year	Type of fishing gear	Mesh opening of cod-end (mm)	Number of hauls	Catch number of <i>D.berycoides</i>		
				Cod-end	Cover net	Total
Jul. 2016	Beam trawl	35.6	2	29	19	48
Aug. 2016	Beam trawl	35.6	3	31	20	51
Jul. 2017	Beam trawl	48.6	3	2	23	25
Aug. 2017	Beam trawl	48.6	1	1	13	14
Sep. 2017	Danish seine	76.6	1	24	6	30
Nov. 2017	Danish seine	76.6	2	8	4	12
Feb. 2018	Danish seine	76.6	2	12	0	12
Apr. 2018	Danish seine	48.6	2	38	7	45
May 2018	Danish seine	48.6	4	227	22	249
Jul. 2018	Beam trawl	48.6	2	2	3	5
Aug. 2018	Beam trawl	48.6	3	9	32	41
Oct. 2018	Danish seine	76.6	2	15	5	20
Nov. 2018	Danish seine	76.6	2	5	0	5
Dec. 2018	Danish seine	76.6	1	4	1	5
Jan. 2019	Danish seine	76.6	1	9	0	9
Jul. 2016	Beam trawl	35.6	2	29	19	48
Aug. 2016	Beam trawl	35.6	3	31	20	51
Jul. 2017	Beam trawl	48.6	3	2	23	25
Aug. 2017	Beam trawl	48.6	1	1	13	14
Sep. 2017	Danish seine	76.6	1	24	6	30
Nov. 2017	Danish seine	76.6	2	8	4	12
Feb. 2018	Danish seine	76.6	2	12	0	12
Period total			31	416	155	571

スティック式 $\gamma(L)$ およびリチャード式 $\delta(L)$ とした。ここで、 a 、 b および c はパラメータである。

$$\gamma(L) = \frac{1}{[1 + \exp(aL + b)]} \quad (1)$$

$$\delta(L) = \frac{1}{[1 + \exp(aL + b)]^c} \quad (2)$$

また、アカムツの体胴周長 G を 3 種類のコードエンドの網目内周長 M (= 目合内径 $\times 2$) で標準化した相対体胴周長と網目選択率との関係からマスターカーブ (東海, 1998) を求めた。マスターカーブについても、ロジスティック式およびリチャード式を用いた。

各式のパラメータは最尤法により、表計算ソフト Microsoft Excel のソルバーを用いて探索的に求めた (東海, 1997)。最適式の選択は、AIC (Akaike Information Criterion) を比較して判断した。コードエンドに入網した個体の半数が網内に留まる 50% 選択体長 ($I50$) および網目選択性の鋭さの指標となる選択レンジ ($I75 - I25$) は、推定したこれらのパラメータから算出した (東海, 1997)。

さらに、マスターカーブを用い、操業試験をしていない目合内径 57.2 mm (呼称目合 6 節) および 101.0 mm (呼称目合 4 節) の網目選択性曲線を推定した。

アカムツの体長組成調査 2014-2017 年秋漁期 (9-10 月) に、府漁協の舞鶴市場に底曳網漁業によって水揚げされたアカムツの体長測定調査を実施した。水揚げされたアカムツは魚体の大きさにより銘柄分けされ、発泡箱に収容される。本種の銘柄は、1 箱あたりの入り数で決められ、1 入りから 20 入りまで分けられる。また、20 入り銘柄以下のサイズの個体は、バラ (平均 30 入り) という銘柄で出荷される。調査では、各銘柄の箱を任意に抽出し、箱内のアカムツの体長をパンチングにより 5 mm 単位で測定した。期間中の測定個体数は計 521 個体であった。この調査で得た銘柄別体長組成を、2015 年 9-10 月の銘柄別出荷箱数 (府漁協の漁獲統計資料) で引き延ばし、底曳網で漁獲されたアカムツの体長組成とした。

府内底曳網に入網したアカムツのうち、商品価値がない小型個体は海上でリリースされる。そこで、これらの個体の体長組成を明らかにするため、2018 年 9 月 9 日の操業 (計 7 曳網) で漁業者が船上でリリース用の魚箱に仕分けたアカムツの体長をデジタルノギスにより 1 mm 単位で計 52 個体測定した。

結 果

目合別の網目選択性曲線 カバーネット操業試験結果から求めた 3 種類のコードエンド目合の選択性に関するロジスティック式およびリチャード式のパラメータと AIC を Table 2 に示した。両式の AIC の

Table 2 Estimated parameter values of logistic (left) and Richards (right) equations for mesh selectivity of *Doederleinia berycoides*.

Parameter	Logistic equation			Richards equation		
	Mesh opening (mm)			Mesh opening (mm)		
	35.6	48.6	76.6	35.6	48.6	76.6
<i>a</i>	-0.146	-0.084	-0.07	-0.295	-0.077	-0.132
<i>b</i>	10.419	7.760	13.062	23.968	6.757	28.514
<i>c</i>	—	—	—	0.179	1.303	0.215
BL (mm) of 50% selection	71.4	92.8	186.1	68.1	91.8	191.0
Selection range	15.1	26.3	31.3	21.5	26.3	40.7
Max. log-likelihood	-8.5	-32.9	-11.5	-9.7	-32.8	-10.5
No. of parameters	2	2	2	3	3	3
AIC	21.0*	69.8*	27.2	25.4	71.6	27.1*

* Lower AIC values indicate better fitting curves.

比較から、コッドエンドの目合内径 35.6 mm および 48.6 mm ではロジスティック式、76.6 mm ではリチャード式が選択された。3 種類の目合の網目選択性曲線を Fig.4 に表した。

各網目選択性曲線における 50% 選択体長については、目合内径 35.6 mm, 48.6 mm および 76.6 mm でそれぞれ体長 71.4 mm, 92.8 mm および 191.0 mm であった。また、選択レンジについては、同内径 35.6 mm, 48.6 mm および 76.6 mm でそれぞれ体長 15.4 mm, 26.3 mm および 40.7 mm であり、目合が大きくなるほど選択範囲が広がった。

マスターカーブによる網目選択性の推定 アカムツの体長 L (mm) と体胴周長 G (mm) との関係を図 5 に示した。両者の関係は式 (3) で表すことができた。

$$G = 0.7694L + 10.034 \quad (r^2 = 0.96) \quad (3)$$

この関係式を用いて、操業試験で採捕した全個体の相対体胴周長 (G/M) と網目選択率との関係を表すロジスティック式およびリチャード式のパラメータと AIC を Table 3 に示した。AIC の比較からロジスティック式が選択され、同式によるマスターカーブを図 6 に示した。マスターカーブの網目選択については、相対体胴周長が 0.5 付近から増加し、0.88 で 50% 選択に達した。選択レンジは 0.2 であった。

マスターカーブより推定した目合内径 57.2 mm および 101.0 mm の網目選択性曲線を Fig.7 に示した。同内径 57.2 mm の 50% 選択体長は、操業試験に基づく同内径 48.6 mm および 76.6 mm との間値となる 120.3 mm であった。また、目合内径 101.0 mm の 50% 選択体長は 221.2 mm であった。

目合別の漁獲物組成の変化 2015 年 9-10 月に府漁協舞鶴市場に水揚げされたアカムツの体長組成お

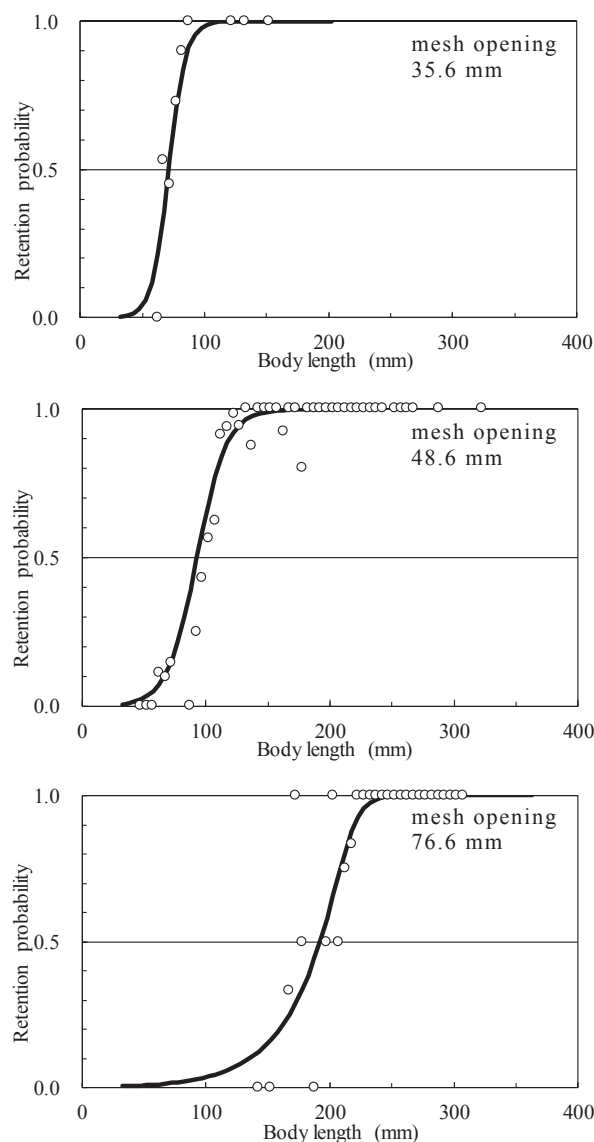


Fig. 4 Estimated selection curves expressed by logistic (mesh 35.6, 48.6 mm) or Richards equation (mesh 76.6 mm) for *Doederleinia berycoides*.

Table. 3 Estimated parameter values of logistic (left) and Richards (right) equations for mesh selectivity of *Doederleinia berycoides*, except for master curve of mesh selectivity.

Parameter	Logistic equation	Richards equation
	Master curve	Master curve
<i>a</i>	-10.490	-11.692
<i>b</i>	9.198	10.766
<i>c</i>	-	0.73
<i>G/M</i> ** of 50% selection	0.88	0.88
Selection range	0.21	0.21
Max. log-likelihood	-61.3	-61.0
No. of parameters	2	3
AIC	126.7*	128.1

* See Table 1 for explanation

** *G/M* = girth(mm)/Mesh perimeter (mm)

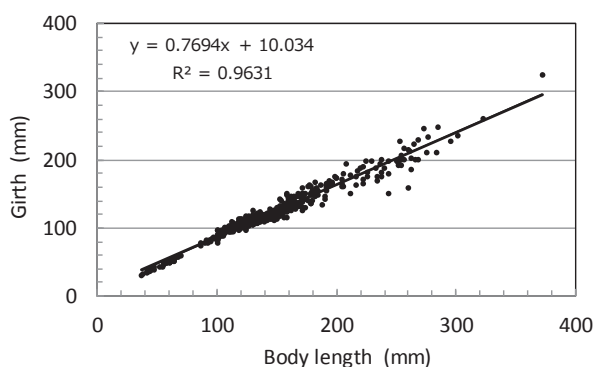


Fig. 5 Relationship between body length and girth, *Doederleinia berycoides* (n = 556).

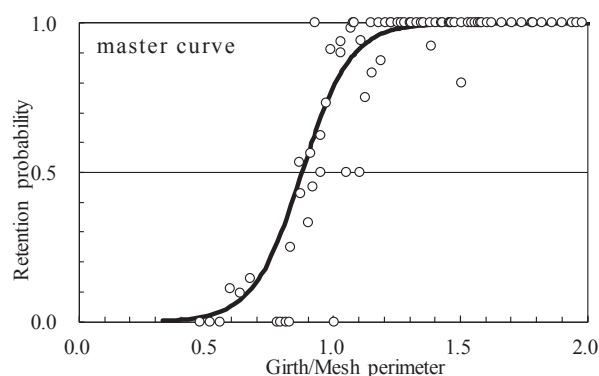


Fig. 6 Master curve of mesh selectivity fitted by a logistic equation for *Doederleinia berycoides*.

び網目選択性を調べた5種類の目合のコッドエンドを実操業に用いた場合の漁獲物組成の変化をFig.8に示した。水揚げされたアカムツは体長120-150mmの割合が最も高く(57%),特に体長120-130mmにモードがみられた。次いで体長160-190mmの割合が32%で、体長200mm以上には明瞭なピークはみられず、その割合は11%であった。コッドエンドの網目拡大を仮定した場合、目合内径35.6mmと48.6mmでは現状の漁獲物組成との大きな違いはみられなかった。目合内径57.2mmでは漁獲される体長120-150mmのうち、35%を網外に逃避させることができると計算された。さらに、目合内径76.6mmおよび101.0mmでは、体長120-150mmの91%および98%、体長160-200mmの60%および84%を削減できることが示された。

操業中に海上でリリースされるアカムツの体長組成および上記5種類の目合のコッドエンドを実操業に用いた場合の体長組成の変化をFig.9に示した。リリースされるアカムツは体長50-70mm台で、体長60mm台の割合が最も高く、全体の73%を占めた。

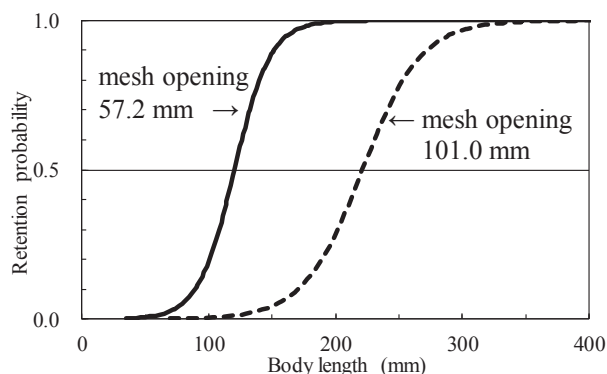


Fig. 7 Selection curve of mesh 57.2 mm and 101.0 mm for *Doederleinia berycoides*, deduced from master curve (Fig. 6).

これらを削減できる割合は目合内径35.6mmでは71%に留まるが、48.6mmであれば91%、57.2mm、76.6mmおよび101.0mmであればほぼ100%と算定された。

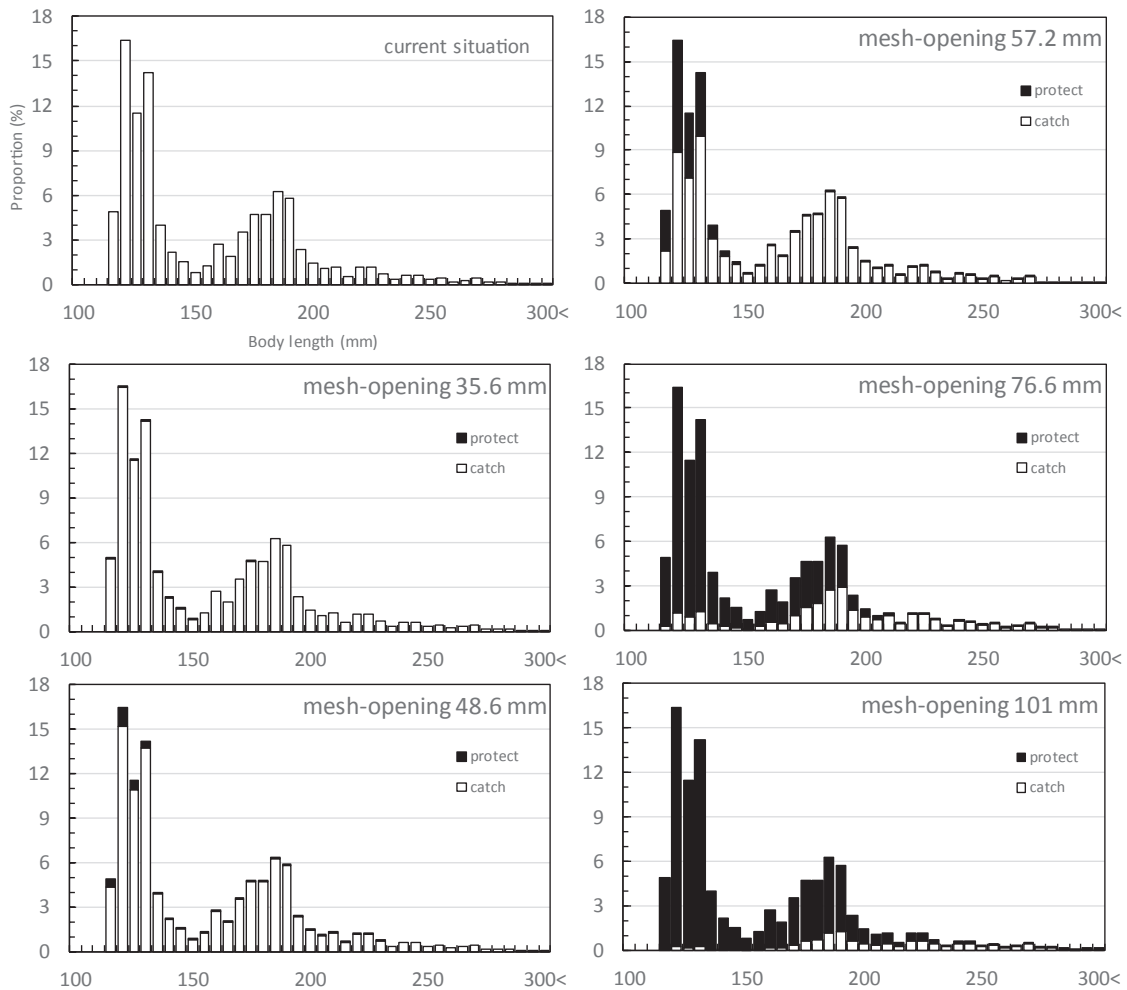


Fig. 8 Estimated body length compositions of *Doederleinia berycoides* for five cod-end mesh sizes derived from selection curves (Figs. 4, 5) based on body length compositions of fish caught by commercial Danish seine off Kyoto prefecture, September–October 2015.

考 察

カバーネット操業試験結果から、35.6 mm、48.6 mm および 76.6 mm のコッドエンドに対するアカムツの網目選択性曲線を得た (Fig.4)。また、3種類の網目選択性から本種のマスターカーブを推定した (Fig.6)。山形県沖合での駆け廻し式底曳網によるカバーネット操業試験では、コッドエンドの目合内径 45 mm および 51 mm に対するアカムツの 50% 選択体長はそれぞれ 99.4 mm および 104.5 mm であった (山形県水産試験場, 2006)。本研究ではこれらの目合による操業試験を実施していないため、今回のマスターカーブをもとに 50% 選択体長を計算すると、前者で 93.0 mm、後者では 105.6 mm となり、ほとんど差はみられなかった。梁ら (1998) は、本種のマスターカーブを機船二そう底曳網 (コッドエンドの目合内径 55 mm) およびトロール網 (同内径 60 mm および 72 mm) を用いたカバーネット操業試験から求

め、50% 選択率および選択レンジをそれぞれ 0.85 および 0.18 と推定した。本研究のマスターカーブに関する両指標値は、それぞれ 0.88 および 0.21 と近い値を示した (Table 3)。本研究では駆け廻し式底曳網と桁曳網の2種類の曳網漁具による操業試験結果を用いてマスターカーブを推定したが、その指標値は既往の研究結果と概ね一致した。このことから、今回のマスターカーブは妥当であると判断された。マスターカーブによる本種の選択率は、体胴周長 0.5 付近から増加しはじめて、体胴周長と網目内周長が等しい 1.0 を若干超えて 100% に達した。相対体胴周長が 1.0 以上で網目を通過することについては、網目や魚には柔軟性があり、網目内周長より体胴周長が大きな魚が網目を押し広げて抜けるためと考えられている (東海ら, 1994)。アカムツにおいても同様のことが起こったと推察される。

日本海における本種の年齢、成長および成熟に関する既往の報告 (大西, 2009; 河野, 2010; 河野, 小

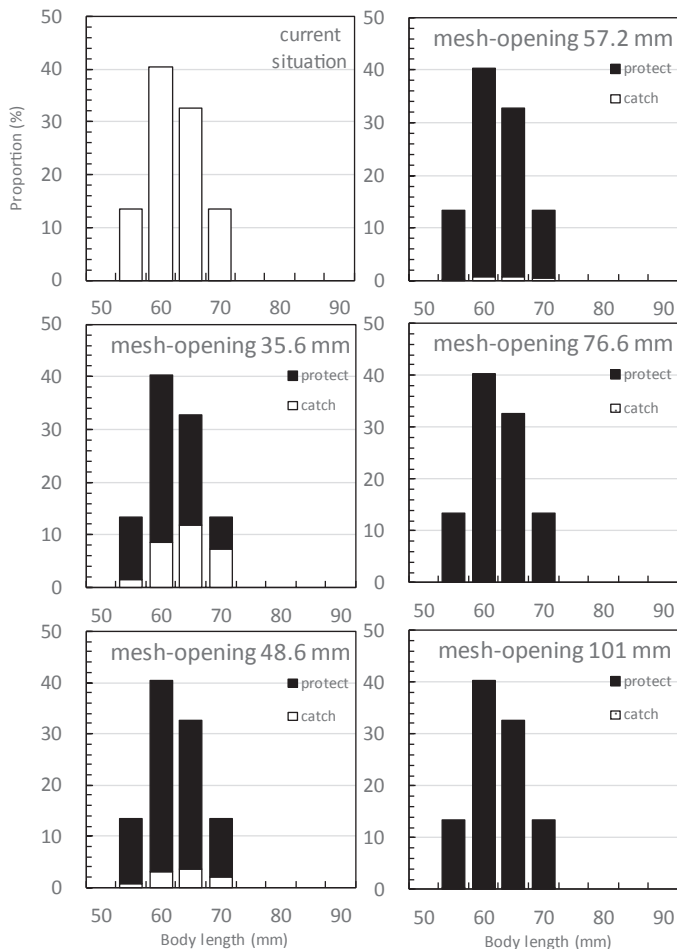


Fig. 9 Estimated *Doederleinia berycoides* body length composition using five mesh sizes (as for Fig. 8), based on Danish seine body length composition from commercial catch off Kyoto prefecture, September 2018.

林, 2011) によると, 雄では1歳で体長 60-80 mm 台, 2歳で 100-130 mm 台, 3-4歳で 140-180 mm 台, 5歳で 200 mm 前後に成長する。雌では2歳まで雄の大きさと同程度だが, それ以降の成長は比較的速く, 3歳で体長 150-180 mm 台, 4歳で 200 mm 前後, 5歳で 220-240 mm 台になる。成熟年齢については, 雄は3-4歳, 雌は4-5歳である。府内底曳網による現状のアカムツ漁業では, 秋漁期に市場に出荷された個体の過半数が体長 120-130 mm の個体であった (Fig.8)。既往の研究からこれらの個体群は2歳の未成熟魚とみられ, 現状の操業を続けると成長乱獲に陥ることが懸念される。次いで漁獲割合の高い体長 160-190 mm の個体群は, 3-4歳雄の成熟魚および3歳雌の未成熟魚で構成されると考えられる。なお, 操業中に海上でリリースされる体長 60-80 mm の個体群は1歳の未成熟魚とみられる。図示はしないが, マスターカーブにもとづく現状の目合 (同内径 25

mm) の50%選択体長は47.6 mm と推定され, 1歳および2歳魚の網外への逃避は期待できない。

雌雄ともに未成熟かつ漁獲割合の多い2歳魚を網外に逃避させる場合には, 網目選択性の分析結果 (Fig.8, 9) より目合内径 57.2 mm 以上であれば一定程度の効果がみられる。なお, 同内径 57.2 mm による2歳魚および体長 50-70 mm 台の1歳魚が網外に逃避する割合は, それぞれ約40%および95%であった。2歳魚の管理を強化するには, 同内径 76.6 mm 以上に拡大することで, 概ね90%以上の保護が期待される。

雌の未成熟個体も保護するため, 管理対象の範囲を体長 200 mm 以下まで広げた場合, 目合内径を 101.0 mm に拡大すれば, これらの約90%が保護され, 再生産を堅持する上でより望ましい。以上のように, 本研究で得た本種のマスターカーブを用いることで, 資源保護のため網外に逃避させたい魚体サイズに応じた適正な目合が算定できる。今後は, 目合を拡大した場合のアカムツやその他有用水産種の逃避による減収や逃避魚の成長による増収を総合的に勘案した漁獲量および漁獲金額の将来予測を試算するなどして漁業関係者の合意形成を図り, 目合を拡大したコードエンドの導入を進める必要がある。

これまで述べてきた網目拡大に限らず, 禁漁区や禁漁期間の設定など他の方策も含めた実効性のあるアカムツの管理を進めるには, 当然のことながら資源を共有する海域の関係者が皆で取り組む必要がある。日本海西部海域では, 本種卓越年級群の発生が1998年, 2001年, 2004年および2013年に確認されているにもかかわらず, 高い漁獲圧が資源の底上げを阻んでいるとの指摘がある (今井ら, 2017)。不合理な漁業を繰り返さないためにも, 精度の高い資源評価手法や府県を跨ぐ広域的な管理目標を早急に策定することが望まれる。

文 献

- 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. 水産大学校研究報告, **65** : 217-222.
- 金坂敏弘. 2017. アカムツ資源を守る新たな仕組みづくり —「機動的禁漁区」を用いた資源管理—. 第23回全国青年・女性漁業者交流大会資料.
- 河野光久. 2010. 日本海南西山口県沖におけるアカムツの年齢と成長, **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, **9** : 119-123.
- 小嶋喜久雄. 1976. 日本海西南域産アカムツの年令と成長. 西海区水産研究所研究報告, **48** : 93-111.

- 宮嶋俊明. 2015. 京都府の駆け回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. 京都海洋セ研究論文, 10 : 1-50.
- 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, 2 : 15-20.
- 大内明. 1956. 重要魚族の漁業生物学的研究. 日本海区水産研究所研究報告, 4 : 217-224.
- 梁振林, 堀川博史, 時村宗春, 東海正. 1999. 底曳網の網目選択性に及ぼす魚体横断面形状の影響. 日水誌, 65 : 441-447.
- 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.
- 東海正. 1998. 底曳網の網目選択性曲線の決定法と資源管理への応用. 日水誌, 64 : 597-600.
- 山形県水産試験場. 2006. 底びき網漁業におけるアカムツの網目選択性. 平成 18 年度研究成果集. <https://www.pref.yamagata.jp>.
- 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.
- 楊倩, 東海正, 酒井猛, 依田真里. 2016. 東シナ海におけるアカムツ, タチウオ, マサバ, ゴマサバに対するコッドエンド選択性について. 平成 28 年度日本水産工学会学術講演会論文集, 127-130.