角目袋網と菱目袋網の選択曲線の AIC による比較

大本 茂之, 東海 正, 反田 實, 西川 哲也, 松田 峻

(1997 年 8 月 1 日受付)

Comparison of Selectivity Curve between Square-mesh
and Diamond-mesh Codends by AICShigeyuki Omoto,^{*1,2} Tadashi Tokai,^{*1} Minoru Tanda,^{*3}
Tetsuya Nishikawa,^{*3} and Ko Matuda^{*1}

This paper describes a method of comparing mesh selectivity curves of square-mesh and diamond-mesh codends by AIC (Akaike's Information Criterion) from the data of cover-net fishing experiments. Two models are assumed for comparison: a single-curve model where a single curve can be fitted for both selectivity values of square and diamond mesh codends; and a two-curve model in which the two mesh codends have different curves. The parameters of Richard equations are estimated as the selectivity curve by the maximum likelihood method, and then the AIC values of each model are also obtained to determine which is the better of the two models. The better-fit model is that with the smaller AIC. The AIC values of three species (*Apogon lineatus*, *Argyrosomus argentatus*, *Loligo japonica*) were estimated from the data of a small otter-trawl fishing experiment using two inner mesh lengths of 21.2 and 25.0 mm carried out in the eastern area of the Seto Inland Sea. The single-curve model was appropriate for 21.2 mm mesh size for *Argyrosomus argentatus*. It revealed that the single-curve model was enough to express selectivity for *Argyrosomus argentatus* of both mesh codends. From the available data of cover-net fishing experiments, this method is useful and easy to evaluate the difference in mesh selectivity curve between the square-mesh codend and diamond-mesh one.

キーワード: 底曳網, 角目袋網, 菱目袋網, 網目選択曲線, 最尤法, AIC

底曳網の資源管理方策の一つとしての網目規制を検討するために、網目選択曲線がしばしば利用される(例えば、Tokai and Kitahara¹⁾)。一方、同一の目合でも角目袋網と菱目袋網では網目選択曲線が異なることが報告されている(例えば、Robertson and Stewart²⁾)。資源管理方策の決定に際しては、試験操業から得られたデータの情報を充分に利用して、特に角目袋網と菱目袋網をそれぞれ別々の網目選択曲線を用いるべきか判断することが必要になる。また、選択性に影響を及ぼす要因には、目合の大きさや角目、菱目などの網目の形状のほかにも多くのものがある。³⁾ こうした異なる条件で求められた網目選択曲線を比較するために、Fryer⁴⁾は網目選択曲線を表す Logistic 曲線のパラメータの有意性を統計的に検定する方法を示した。これに対して、平松⁵⁾は網目選

択曲線のモデル式の決定に AIC を用いることを薦めている。AIC によるモデルの決定は、統計検定における有意水準の設定が必要なく簡便である点で有益である。

そこで、本論文では、AIC によって角目袋網と菱目袋網の網目選択曲線を比較検討する。角目袋網と菱目袋網の両者が同じ選択性を示すものとして一つの曲線を推定した場合 (single-curve model) と、それぞれ別々の曲線を当てはめた場合 (two-curve model) で、最尤法によりパラメータを推定する。このとき同時に求めたそれぞれの AIC を比較することによって、一つの曲線で扱うべきか、別々の曲線で扱うべきかを検討する。

材料および方法

操業実験 1992 年 7 月 18 日および 10 月 6 日に兵庫

^{*1} 東京水産大学 (Department of Marine Science and Technology, Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108-8477, Japan).

^{*2} 現所属、東和科学株式会社 (Department of Ocean Technology, Towa Kagaku, Co. Ltd, Funairi, Naka, Hiroshima 730-0841, Japan).

^{*3} 兵庫県水産試験場 (Hyogo Prefectural Fisheries Experimental Station, Futami, Akashi, Hyogo 674-0093, Japan).

県室津沖の海域で、板曳網漁船4隻を庸船し、カバーネット式の試験操業を行った。各船の袋網は、菱目と角目袋網でそれぞれ目合内径25.0と21.2 mmの計4種類である。また、カバーネットには、目合内径15.3 mmの菱目袋網を用いた。なお、ここでの目合の計測は西川ら⁶⁾や西川ら⁷⁾に従って、三角定規(セルロイド製、厚さ2.02 mm)の30度の角度を網地に差し込み、押し広げられた向かい合う結節間の内側の距離をデジタルノギスで測定した。曳網時間は当業船と同様の50分とし、4隻同時に同一海域で合計4回の曳網を行った。袋網とカバーネットの漁獲物について、それぞれの中からゴミなどを取り除き、船上で標本をホルマリン固定した。研究室に持ち帰った標本を種類ごとに分類し、曳網ごとの漁獲尾数を記録した。網目選択性の比較に十分な標本数が得られたのは、21.2 mm目合のテンジクダイ *Apogon lineatus* と21.2 mm目合のシログチ *Argyrosomus argenteatus* および両目合のジンドウイカ *Loligo japonica* であり、本研究ではこれらを対象とする。シログチ、テンジクダイについては体長を、ジンドウイカについては外套背長をデジタルノギスで測定し、そのデータを直接パソコンに取り込み、魚種別目合別に体長組成(Fig. 1)を求めた。なお、テンジクダイの25.0 mm目合とシログチの25.0 mm目合については、網目選択曲線を求めるには標本が不足したために、ここでは取り扱わない。

解析方法 網目選択曲線は、平松⁵⁾の方法に従ってモデル式のパラメータを最尤法で推定する。この方法は、魚が網に保持される確率を二項分布として取り扱い、最尤法を用いて網目選択曲線を推定するものである。

いま、 P_L を体長 $L(L=L_1, \dots, L_n)$ の魚が網に漁獲される確率、 N_L を網口に入った体長 L の魚の数、 C_L を網目に保持された体長 L の魚の数とすると、魚が網に保持される確率は次式(1)になる。

$$\prod_{L=L_1}^{L_n} \frac{N_L!}{(N_L - C_L)! C_L!} P_L^{C_L} (1 - P_L)^{N_L - C_L} \quad (1)$$

網目選択曲線にはLogistic曲線が一般的に用いられるが、しばしば選択率のプロットが非対称となるのでRichard曲線の適合が良いとされている。⁸⁾したがって、ここでは、網目選択曲線として、以下に示すRichard曲線を用いる。

$$F(L) = \left\{ \frac{1}{1 + \exp(a - bL)} \right\}^c \quad (2)$$

このとき尤度関数は

$$L(a, b, c | C_{L_1}, \dots, C_{L_n}, N_{L_1}, \dots, N_{L_n}) \\ = \prod_{L=L_1}^{L_n} \frac{N_L!}{(N_L - C_L)! C_L!} F(L)^{C_L} (1 - F(L))^{N_L - C_L} \quad (3)$$

となる。ここで a, b, c はRichard曲線のパラメータで

ある。

(3)式の両辺について対数をとると

$$\ln L(a, b, c | C_{L_1}, \dots, C_{L_n}, N_{L_1}, \dots, N_{L_n}) \\ = \sum_{L=L_1}^{L_n} \ln \left[\frac{N_L!}{(N_L - C_L)! C_L!} F(L)^{C_L} (1 - F(L))^{N_L - C_L} \right] \\ = \sum_{L=L_1}^{L_n} \left[\ln \frac{N_L!}{(N_L - C_L)! C_L!} + C_L \ln F(L) \right. \\ \left. + (N_L - C_L) \ln (1 - F(L)) \right] \quad (4)$$

となる。

与えられたデータの下で、(4)式の対数尤度関数を最大とするパラメータを求めることにより網目選択曲線が推定される。なお、(4)式の対数尤度関数を最大にするパラメータの決定には、直接探索法のひとつであるシンプレックス法を用いた。⁹⁾

角目袋網と菱目袋網の網目選択曲線を別々に扱うべきかを検討するために、両者が同じ選択性を示すものとして一つのRichard曲線を当てはめた場合(Single-curve model)と、それぞれ別々のRichard曲線を当てはめた場合(Two-curve model)の2つのモデルを考える。後者は前者に比べて尤度が大きくなると予想されるが、パラメータ数は前者の2倍の6つになる。したがって、モデルの選択にはパラメータ数を考慮に入れたAICで行う。

両モデルのAICは

(Single-curve model)

$$AIC = -2 \times \ln L_d(a, b, c | C_{dL_1}, \dots, C_{dL_n}, N_{dL_1}, \dots, N_{dL_n}) \\ - 2 \times \ln L_s(a, b, c | C_{sL_1}, \dots, C_{sL_n}, N_{sL_1}, \dots, N_{sL_n}) \\ + (2 \times 3) \quad (5)$$

(Two-curve model)

$$AIC = -2 \times \ln L_d(a_d, b_d, c_d | C_{dL_1}, \dots, C_{dL_n}, N_{dL_1}, \dots, N_{dL_n}) \\ - 2 \times \ln L_s(a_s, b_s, c_s | C_{sL_1}, \dots, C_{sL_n}, N_{sL_1}, \dots, N_{sL_n}) \\ + (2 \times 6) \quad (6)$$

となる。ここで、 $\ln L_d$ は菱目袋網の最大対数尤度、 $\ln L_s$ は角目袋網の最大対数尤度である。両モデルのAICを比較し、より小さなAICを与えるモデルをより適切なモデルとして採用する。

結 果

テンジクダイ、シログチは体長に対して、ジンドウイカは外套背長に対して網目選択率を目合別菱目角目袋網別にプロットし、角目袋網と菱目袋網の両者が同じ選択性を示すものとして一つの曲線を推定した場合(Single-curve model)と、それぞれ別の曲線を当てはめた場合(Two-curve model)の結果をFig. 2に示した。Fig. 2のRichard曲線で表された網目選択曲線を目

Fig. 1. Length distribution for three species, *Apogon lineatus*, *Argyrosomus argentatus*, and *Loligo japonica*.

合別袋網別に求めた結果を Table 1 に示す。

まず, Fig. 2 で選択率のプロットについて検討する。テンジクダイに対する 21.2 mm 目合の角目袋網の網目選択率は、菱目袋網のそれより右側にあり、同一目合では角目袋網の方が網目を抜けやすいことを示している。この結果は、これまでの角目袋網の選択性に関する報

告^{2,10)}と同じである。一方、シログチの 21.2 mm 目合に対する網目選択率は両袋網にほとんど差がないものの、菱目袋網の選択率がわずかに右側にある。シンドウイカについては、目合の大きさに関係なく菱目袋網の網目選択率が角目袋網のそれより右側にある。

次に, single-curve model と two-curve model のい

Fig. 2. Mesh selectivity curves estimated by single-curve model and two-curve model for the three species, *Apogon lineatus*, *Argyrosomus argentatus*, and *Loligo japonica*.

Table 1. Values of parameter in the curve equation of mesh selectivity for the three species

Species name	Mesh size (mm)	Model	Mesh type	Value of parameter in the curve equations		
				<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
<i>Apogon lineatus</i>	21.2	Single curve		24.30	0.55	0.17
		Two curves	Diamond	12.54	0.31	0.42
			Square	32.17	0.71	0.14
<i>Argyrosomus argenteus</i>	21.2	Single curve		23.84	0.40	0.26
		Two curves	Diamond	19.45	0.32	0.31
			Square	30.63	0.51	0.21
<i>Loligo japonica</i>	21.2	Single curve		19.39	0.62	0.10
		Two curves	Diamond	5.70	0.23	0.68
			Square	12.63	0.43	0.17
	25.0	Single curve		-0.37	0.18	132.44
		Two curves	Diamond	-0.16	0.20	156.73
			Square	-0.34	0.20	156.04

れが適切か AIC を用いて検討する。魚種別目合別に求めたそれぞれのモデルの AIC を Table 2 に示す。シログチの 21.2 mm 目合に対する網目選択曲線では、two-curve model に比べ single-curve model の方が AIC の値が小さく適切なモデルとなっている。このことから、この場合では、得られたデータからは角目袋網と菱目袋網の網目選択曲線を別々に取り扱う必要はないといえる。一方、テンジクダイの 21.2 mm 目合とジンドウイカの両目合に対する網目選択曲線は、single-curve model に比べて two-curve model の AIC が小さく、適切なモデルとなっている。このため、これらについては、角目袋網と菱目袋網の網目選択曲線を別々に取り扱ったほうがよいといえる。

考 察

上述したように、21.2 mm 目合のテンジクダイについては、これまでの研究^{2,8)}と同様に、わずかではあるが角目袋網の有効性が確認できた。しかし、シログチでは、角目袋網と菱目袋網の網目選択性はほとんど変わらず、むしろ推定された網目選択曲線から角目袋網よりも菱目袋網の方が網目を抜けやすい結果となった (Fig. 2)。これらのことは、角目袋網はすべての魚種に対して有効というわけではなく、魚種によっては菱目袋網の方が有利な場合もあることを意味している。このようにある魚種では菱目の方が網目を抜けやすいという結果はベルギー沿岸のカレイ類でも報告されている。¹¹⁾

本研究の対象魚種に対しては、角目袋網と菱目袋網で網目選択曲線を別々に取り扱う必要がない場合が認められた。また、角目と菱目袋網で別々の網目選択曲線を用

Table 2. Values of AIC computed in the two models for the three species

Species name	Mesh size (mm)	Value of AIC	
		Single-curve model	Two-curve model
<i>Apogon lineatus</i>	21.2	1430.78	1427.67*
<i>Argyrosomus argenteus</i>	21.2	1836.15*	1836.72
<i>Loligo japonica</i>	21.2	846.34	838.96*
	25.0	569.86	568.27*

* smaller value of AIC, between the two models.

いるべきとされた 21.2 mm 目合のテンジクダイや両目合のジンドウイカでも、二つのモデルにおける AIC 値はさほど大きく違わなかった (Table 2)。このように本漁業で角目袋網と菱目袋網の網目選択性に大きな差が認められなかった原因としては、以下のことが考えられる。つまり、網目にかかる張力の問題である。スコットランドでは漁獲物の重みによって網目に大きな張力がかかり、菱目では網目が閉じるなど、その選択性への影響が論じられている。^{12,13)}しかし、本研究の対象とした小型底曳網漁業は比較的一網当たりの漁獲量は少なく、網目に大きな張力がかからないために、菱目袋網でも魚は容易に網目から抜け出ることができたと考えられる。

本論文では、試験操業から得られたデータをもとにして、角目袋網と菱目袋網の網目選択曲線を別々に取り扱うべきか、または両者に差はなく同じ網目選択曲線で取

り扱うべきかを, AIC を比較することで検討した。一方, Fryer⁴⁾が示した網目選択曲線の比較方法は, 網目選択曲線を表した Logistic 曲線のパラメータにおける差を統計的に比較検定するものである。つまり, 両者の網目選択曲線には差がないとする帰無仮説を立てた検定を行っており, その棄却値は設定された有為水準と自由度に関連するデータ数に依存する。このために, データ数が不足している場合には, この検定の過程で, 本来は両者に差がある場合でも差が認められないという過誤を犯す可能性がある。同様に, 本研究で角目と菱目を別々に扱う必要がない場合でも, データ数が増えることによって両者を別々に扱う必要がでるかもしれない。また, 本研究で採用した Richard 曲線はパラメータ数が 3 であり, 推定されたパラメータ間に相関が生じる可能性が高い。このとき, Table 1 のシログチの結果にみられるように, パラメータ値が異なっている Fig. 2 のように曲線の形がよく似ていることが起きる。この場合には, Fryer⁴⁾が示したパラメータの差の検定よりも, AIC によって両者を比較する方が妥当であろう。

本研究では, 平松⁵⁾と同様に, 魚が網目に保持されるかどうかを 2 項分布で表して網目選択曲線のパラメータを最尤推定した。しかし, 野外の生物は一般に集中分布することから, 2 項分布によるモデルよりもデータは過分散 (over-dispersion) を伴う可能性が高く, こうした過分散によって AIC の値が小さくなり, 複雑なモデルを選んでしまう傾向がある。¹⁴⁾ これによって, 本研究でより複雑なモデルである two curve model を選んだ場合についても, 過分散を検討することで single curve model を採用する結果となるかもしれない。今後の課題として, こうした網目選択曲線のパラメータ推定に及ぼす過分散を評価していく必要がある。

資源管理に角目袋網の導入を図るべきかを検討する場合には, その時点で試験操業から得られているデータの範囲内で, 角目袋網の網目選択性が菱目のそれと異なるかを判断しなくてはならない。こうした場合にも, 本論文で示した AIC による判定は簡便で有効である。また, ここで示した方法は, 角目と菱目だけに限らず試験操業で設定された異なる条件下の網目選択曲線を別々に求めるべきかという問題や, 一般的に漁具間の選択曲線を比

較する際にも, 現有するデータから判断する際に有効であると考えられる。

謝 辞

標本の測定および資料の整理に協力頂いた当時東京水産大学学生の三木剛君に感謝する。また, 有益なご指摘をいただきました 2 名の査読者の方々に深謝する。

文 献

- 1) T. Tokai and T. Kitahara: Fisheries management of a small shrimp trawl in the Inland Sea of Japan—Discard fishes and mesh size regulation—. *Marine Pollution Bulletin*, **23**, 305–310 (1991).
- 2) J. H. B. Robertson and P. A. M. Stewart: A comparison of size selection of haddock and whiting by square and diamond mesh codends. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, **44**: 148–161 (1988).
- 3) S. A. Reeves, D. W. Armstrong, R. J. Fryer, and K. A. Coull: The effect of mesh size, cod-end extension length and cod-end diameter on the selectivity of Scottish trawls and seines. *ICES J. Mar. Sci.*, **49**: 279–288 (1992).
- 4) R. J. Fryer: A model of between-haul variation in selectivity. *ICES J. Mar. Sci.*, **48**: 281–290 (1991).
- 5) 平松一彦: 最尤法による水産資源の統計学的研究—パラメータ推定とモデル選択—. 遠洋水研報, **29**, 57–114 (1992).
- 6) 西川哲也, 反田 實, 長浜達章: 大阪湾の小型底曳網 (板曳網) におけるサルエビの網目選択性. 兵庫水試研報, (31), 1–8 (1994).
- 7) 西川哲也, 反田 實, 長浜達章, 東海 正: 大阪湾の小型底曳網におけるマアナゴの網目選択性. 日水誌, **60**, 735–739 (1994).
- 8) R. B. Millar: Incorporation of between-haul variation using bootstrapping and nonparametric estimation of selection curves. *Fish. Bull.*, **91**, 564–572 (1993).
- 9) J. A. Nelder and R. Mead: A simplex method for function minimization. *Computer J.*, **7**: 308–313 (1983).
- 10) 陳 俊徳, 松田 俊, 周 耀然, 東海 正: 台湾海峡における底曳網の角目袋網の網目選択性. 日水誌, **58**, 627–635 (1992).
- 11) R. Fonteyne and R. M'Rabet: Selectivity experiments on sole with diamond square mesh codends in the Bergian coastal beam trawl fishery. *Fish. Res.*, **13**, 221–233 (1992).
- 12) J. H. B. Robertson and R. S. T. Ferro: Mesh selection within the cod-end of trawls. The effects of narrowing the cod-end and shortening the extension. *Scottish Fish. Res. Rep.*, **39**, 1–11 (1988).
- 13) E. S. Strange: Mesh shrinkage in fishing nets. *Scottish Fish. Inform. Pamph.*, (11), 1–14 (1984).
- 14) 山田作太郎, 北田修一: 生物資源統計学. 成山堂書店, 東京, 1997, pp. 219–230.