VPA と着底トロール調査による資源量から推定された 東北海域におけるマダラの漁獲効率

上田 祐司,^{1*} 成松 庸二,¹ 服部 努,¹ 伊藤 正木,¹
北川 大二,^{1a} 富川なす美,² 松石 隆³

(2005 年 8 月 22 日受付, 2005 年 10 月 31 日受理)

¹海水産総合研究センター東北水産研究所八戸支所, ²宮城県水産研究開発センター,
³北海道大学大学院水産科学研究院

Fishing efficiency estimated based on the abundance from virtual population analysis
and bottom-trawl surveys of Pacific cod *Gadus macrocephalus*
in the waters off the Pacific coast of northern Honshu, Japan

YUJI UEDA,^{1*} YOJI NARIMATSU,¹ TSUTOMU HATTORI,¹ MASAKI ITO,¹
DAIJI KITAGAWA,^{1a} NASUMI TOMIKAWA² AND TAKASHI MATSUISHI³

¹Hachinohe Branch, Tohoku National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Hachinohe,
Aomori 031-0841, ²Miyagi Prefecture Fisheries Research and Development Center, Ishinomaki, Miyagi
986-2135, ³Research Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

Fishing efficiency is one of the most important parameters to estimate population size using the swept area method based on bottom-trawl surveys. In the present study, the fishing efficiency of the stock of Pacific cod *Gadus macrocephalus* in the waters off the Pacific coast of northern Honshu, Japan was estimated based on the abundance obtained from virtual population analysis. Fishing efficiencies were estimated to fit the population size obtained from the swept area method to that obtained from virtual population analysis. Fishing efficiency was estimated as 0.54 for 1-year-old and 0.12 for 2-year-old fish, which had a significant difference. This is because, the fishing efficiency of 2-year-old fish was mainly affected by encounter rate to fishing gear caused by the difference of distribution area among the fish of different ages; many of the 2-year-old and over fish distributed on un-trawlable parts, e.g. rough-bottomed reefs.

キーワード：VPA, 漁獲効率, 東北海域, トロール調査, マダラ, 面積密度法

マダラ *Gadus macrocephalus* は日本周辺の太平洋側では茨城県以北に分布し,¹⁾ 近年東北海域 (Fig. 1) では、スルメイカやスケトウダラと並ぶ重要な漁業資源である。本資源は 1995 年に資源評価対象種となり、2000 年からは資源量推定結果に基づき算定された生物学的許容漁獲量 (ABC) が公表されている。

東北海域における本種の資源量推定法としては、トロール調査結果をもとにした直接推定法である面積密度法が用いられている。^{2,3)} この方法では、推定された資源

量指数 (使用したトロール網の漁獲効率を 1 としたときの資源量) を漁獲効率で除したものを資源量推定値とするので、資源の絶対量を把握し、漁獲係数や漁獲率などを推定するためには、漁獲効率を求めることが不可欠である。漁獲効率は、漁具に遭遇した対象生物のうち、漁獲された個体数の割合を示し、トロール網のグランドロープ後方に補助網を取り付けるなどの方法により推定される。⁴⁻⁶⁾ 東北海域の底魚類では、キチジやズワイガニについて曳航式深海用ビデオカメラを用いて推定され

* Tel : 81-178-33-1500. Fax : 81-178-34-1357. Email : yujiueda@affrc.go.jp

^a 現所属：海水産総合研究センター西海区水産研究所 (Seikai National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Nagasaki 851-2213, Japan)

Fig. 1 Bottom-trawl survey area (dotted), prefectures and fishing ports in the waters off the Pacific coast of northern Honshu area. Fisheries statistics of the prefectures and fishing ports shown were used in the present study.

ているが,^{7,8)} マダラの漁獲効率はこれまで調べられていない。

本資源には、過去の漁獲統計や年齢査定結果を用いて VPA の適用が可能である。VPA は、漁獲統計を用いる資源量推定法の中で最も広く用いられている方法の一つであるが、^{9,10)} この方法で資源量推定が可能になるのは、漁獲統計が整備された後であることから、本資源の場合、約 1 年の時間遅れが生じる。一方、直接推定法である面積密度法では、調査時点の資源量を漁業とは独立して推定できることが長所の一つである。この面積密度法による資源量推定に必要な漁獲効率を、過去の VPA による資源量推定値を用いることにより、上述の方法のように漁獲効率を調べるための特別な装備を用いることなく、簡便に推定できるものと考えられる。

本研究では、東北海域におけるマダラについて、VPA による推定資源量と面積密度法による推定資源量指数を比較することにより、面積密度法による資源量推定に必要な漁獲効率を推定することを目的とした。

材料および方法

面積密度法による資源量推定が 1995 年以降毎年行われているので、VPA では 1995 年から 2003 年の漁獲統計を用いて資源量推定を行った。

年別漁獲量 東北海域におけるマダラの漁獲量を、太平洋北区沖合底びき網漁業漁場別漁獲統計資料¹¹⁾ および青森、岩手、宮城、福島および茨城の各県の漁獲統計資料¹²⁻¹⁶⁾ から得た。漁獲量は 1995 年以降増加し、1998 および 1999 年には 19,000 トンであった。その後 2002 年まで減少し、2003 年には再び増加 (9800 トン) した (Fig. 2)。県別では、青森 (以下すべて太平洋側)、岩手、宮城県の割合が多く、福島県と茨城県では少なかった。青森、岩手、宮城の三県の占める割合は最も低い 1995 年で 86%, 1997 年以降は各年とも 90% 以上であった。漁業種類別では底曳網で漁獲されていた割合が高く、1997 年 (65%), 2002 年 (64%) を除き各年とも 70% 以上であった (Fig. 2)。

年別漁獲体長組成 1995 年から 2003 年に青森県および宮城県で水揚げされたマダラの体長 (被鱗体長) 組成を、1~6 月および 7~12 月の半年ごとに求めた。体長組成を半年ごとに求めたのは、Age-length key を半年ごとに作成し、精密な年齢分解を行うためである。青森県については、東北区水産研究所八戸支所が行った魚体測定から得られた銘柄-体長関係を用いて、八戸漁業協同組合連合会 (八戸漁連、現八戸みなと漁協) で集計された銘柄組成を体長組成に変換した。宮城県については、宮城県水産研究開発センターが石巻魚市場で行った魚体測定結果から体長組成を得た。体長組成から、東北区水産研究所八戸支所が行った魚体測定より得られた以下の体長-体重関係を用いて、それぞれの魚市場の漁獲重量を求めた。

$$\text{上半期 (2 月)} : BW = 4.90 \cdot 10^{-6} BL^{3.17} \\ (n = 497, r^2 = 0.97) \quad (1)$$

$$\text{下半期 (10 月)} : BW = 2.97 \cdot 10^{-6} BL^{3.26} \\ (n = 100, r^2 = 0.99) \quad (2)$$

上式で BW は体重 (g) で、 BL は標準体長 (mm) を表す。八戸漁連では青森県で水揚げされる漁獲物の多くが扱われることから青森県の漁獲物を代表していると仮定し、八戸漁連の漁獲量と青森県の漁獲量の比より、青森県で水揚げされた体長組成を算出した。同様に宮城県の漁獲物のほとんどが石巻港に水揚げされることから、石巻魚市場の漁獲物が岩手県以南の漁獲物を代表していると仮定し、石巻魚市場の漁獲重量と岩手県以南 (岩

手、宮城、福島、茨城)の漁獲量の比より、岩手県以南の漁獲体長組成を算出した。以上では各県の漁獲量について、体長階級幅は 50 mm とした。

Age-length key Age-length key の作成には、以下の標本を用いた。

上半期については、1996 年から 2003 年の各年 4 月

Fig. 2 Annual catch of Pacific cod in the waters off the Pacific coast of northern Honshu, Japan for prefectures (a) and fishing gear (b).¹¹⁻¹⁶⁾

に行われたトロール調査(但州丸;兵庫県立香住高等学校所属, 499 トン)により採集された個体および各年 1 月から 3 月に八戸港に水揚げされた個体を用いた。これらの標本について体長測定を行い、体長組成から明らかに 1 歳魚と判別可能であったものを除く、体長 300 mm 以上の 3037 個体について年齢査定を行った。

下半期については、1996 年から 2003 年の各年 10 月に行われたトロール調査(若鷹丸;東北区水産研究所所属, 692 トン)により採集された個体および各年 10 月から 12 月に八戸港に水揚げされた個体を用いた。これらの標本について体長測定を行い、上半期の標本と同様に体長 380 mm 以上の 1530 個体について年齢査定を行った。

年齢査定には耳石薄片法^{17,18)}を用いた。年齢査定結果を階級幅 50 mm の体長階級に分け、階級ごとに、1 歳から 7 歳以上 (7+) までの各年齢の個体が存在する割合 (Age-length key) を、年ごとに上半期と下半期についてそれぞれ算出した。この際、一つの階級に含まれる個体数が 10 個体未満の場合は、年をプールし各年の個体数を合計して得られた値を用いた。

年別年齢別漁獲尾数 年別半期別体長階級別漁獲尾数から、以上で求めた Age-length key を用いて年別半期別年齢別漁獲尾数を算出した。算出された年別半期別年齢別漁獲尾数について、各年とも上半期と下半期の値を合計して年別年齢別漁獲尾数を得た (Table 1)。

VPA 以上のようにして求めた年別年齢別漁獲尾数を VPA に用いた。解析には Pope の近似式¹⁹⁾を用い、計算手順は平松²⁰⁾にしたがった。詳細は以下のとおりである。

ある年級群の最近年 (2003 年) Y における最高齢 (7+) $A+$ の漁獲係数 $F_{A+, Y}$ に任意の値を与え、資源尾数 $N_{A+, Y}$ を以下の式で求めた。

$$N_{A+, Y} = \frac{C_{A+, Y}}{1 - \exp(-F_{A+, Y})} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (3)$$

上式で C は漁獲尾数、 M は自然死亡係数である。

その年級群の 2002 年以前および 6 歳以下について、

Table 1 Annual catch of Pacific cod in the waters off the Pacific coast of northern Honshu, Japan.

	Age	Year								
		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Catch in number (thousand)	1	7,098	6,526	17,404	24,061	22,523	5,374	33,012	6,126	18,435
	2	939	1,157	609	5,969	5,447	6,922	892	1,300	1,311
	3	263	365	663	966	1,645	966	1,194	247	571
	4	153	193	315	303	284	552	314	380	114
	5	103	113	152	194	167	144	144	94	97
	6	59	60	63	125	149	184	74	116	71
	7+	24	25	15	52	71	82	45	47	27

y 年における a 歳の資源尾数 $N_{a,y}$ を, 以下の式で 1 歳まで順次求めた。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \exp(M) + C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (4)$$

そのときの漁獲係数 $F_{a,y}$ を以下の式で求めた。

$$F_{a,y} = -\ln \left\{ 1 - \frac{C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{N_{a,y}} \right\} \quad (5)$$

他の年級群について, 2002 年以前の最高齢 $A+$ の漁獲係数 $F_{A+,y}$, および最近年 (2003 年) Y の 6 歳以下の漁獲係数 $F_{a,Y}$ を, 以下のように求めた。

$$F_{A+,y} = F_{A-1,y} \quad (6)$$

$$F_{a,Y} = \frac{F_{a,Y-1} + F_{a,Y-2} + F_{a,Y-3}}{3} \quad (7)$$

(3) から (7) 式を用いて他の年級群の資源尾数をすべて求めた。

最初に与えた最近年, 最高齢の漁獲係数 $F_{A+,Y}$ と 6 歳の漁獲係数 $F_{A-1,Y}$ が等しくなるように, $F_{A+,Y}$ を MS-Excel のソルバーを用いて探索的に求めた。

自然死亡係数 自然死亡係数 M については, 年齢査定で見られた最高齢より寿命を 8 歳とし, 田内・田中の式²¹⁾より算出した $M=0.31$ を用いた。 M に対する漁獲効率 q の感度解析として, $M=0.21, 0.26, 0.36, 0.41$ について VPA により資源量推定を行い, それぞれの場合について q を推定した。

面積密度法 面積密度法による年別年齢別資源量指数 (漁獲効率が 1 のときの資源量) $I_{a,y}$ は, 東北区水産研究所が行った着底トロール調査結果から得られた。^{2,3)} この調査は東北海域において 1995 年から 2003 年の 10 月から 11 月に各年 57~100 地点で行われ (Fig. 1), 調査点は水深 100~1000 m で 100 m または 200 m ごとに区切られた層にそれぞれ配置された。調査で使われた網は, 袖網長 13 m, 身網長 26.1 m および網口幅 5.4 m であり, 2003 年の調査における曳網時の袖先間隔は, 平均 20.34 m, 標準偏差 2.23 m ($n=100$) であった。網のコッドエンドの長さは 5 m で, 内網の目合は 50 mm, 外網の目合は 8 mm 角, 最外の擦れ防止網の目合は 60 mm であった。曳網は日中に船速 2.5~3.5 ノットで行われ, 曳網時間は原則として 30 分間とした。採集

されたマダラは上述の方法で年齢査定を行い, 各層について各調査点の推定生息密度の平均を求め, これに層の面積の比を乗じて資源量指数を推定した後, 各層の資源量指数の和を東北海域におけるマダラの年齢別資源量指数とした (Table 2)。年別年齢別資源量指数 $I_{a,y}$ と年齢別漁獲効率 q_a より, 年別年齢別資源尾数を以下の式で求めた。

$$I'_{a,y} = \frac{I_{a,y}}{q_a} \quad (8)$$

以上の調査では, 4 歳以上の採集個体は各年とも 10 尾未満と非常に少ないため, 以後の解析には 1 歳から 3 歳の資源量指数を用いた。

漁獲効率の推定 VPA による資源量推定値と面積密度法による資源量指数を用いて, 面積密度法に用いられる漁獲効率を以下のように推定した。

VPA で推定された資源尾数 $N_{a,y}$ は 1 月時点の資源尾数であるので, 着底トロール調査の時期に合わせ, 10 月時点での資源尾数 $N'_{a,y}$ を算出した。算出には, Pope の近似式をもとに導出した以下の式を用いた。

$$N'_{a,y} = N_{a,y} \exp\left(-\frac{9}{12}M\right) - C'_{a,y} \exp\left(-\frac{4.5}{12}M\right) \quad (9)$$

ここでは 1 月から 9 月までの漁獲尾数を表す。年ごとに 1 月から 9 月までの累積漁獲量の年間漁獲量に対する割合を算出し, この割合を各年齢の漁獲尾数に乗じて C' を算出した。

VPA で推定された 10 月時点の資源尾数 $N'_{a,y}$ と面積密度法で推定される資源尾数 $I'_{a,y}$ から, 以下の尤度を最大にする漁獲効率 q_a を求めた。

$$L = \prod_{y=1995}^{2002} \left[\frac{1}{N'_{a,y} \sqrt{2\pi\sigma^2}} \times \exp \left[\frac{-\{\ln(N'_{a,y}) - \ln(I'_{a,y})\}^2}{2\sigma^2} \right] \right] \quad (10)$$

上式で σ は残差 $\{\ln(N'_{a,y}) - \ln(I'_{a,y})\}$ の標準偏差である。VPA で推定された 2003 年の資源尾数は, (7) 式より過去 3 年の漁獲係数 F の平均値から算出された値であるので解析から除き, 1995 年から 2002 年までの $N'_{a,y}$ および $I'_{a,y}$ を用いた。

Table 2 Annual population size indices obtained from bottom-trawl survey

	Age	Year								
		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Population size in number (thousand)	1	3,240	993	21,978	14,552	27,573	1,489	1,999	2,303	13,976
	2	255	345	110	1,033	573	1,654	39	353	181
	3	14	59	131	21	266	77	157	77	196

Population size indices was the population size in number obtained from bottom-trawl survey for fishing efficiency was 1.

Table 3 Annual population size and fishing mortality estimated using virtual population analysis

	Age	Year								
		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Population size in number (thousand)	1	15,048	13,138	36,757	41,012	42,252	8,943	43,196	10,815	27,644
	2	4,388	4,934	4,027	11,996	9,414	11,637	1,944	3,358	2,670
	3	2,005	2,406	2,618	2,424	3,668	2,226	2,590	659	1,344
	4	933	1,241	1,447	1,347	946	1,276	802	873	270
	5	354	552	743	789	726	449	461	318	313
	6	167	171	307	413	411	388	206	214	152
	7+	69	71	73	170	195	173	127	87	58
Fishing mortality (per year)	1	0.80	0.87	0.81	1.16	0.98	1.21	2.24	1.09	1.51
	2	0.29	0.32	0.19	0.87	1.13	1.19	0.77	0.60	0.85
	3	0.17	0.20	0.35	0.63	0.74	0.71	0.77	0.58	0.69
	4	0.21	0.20	0.29	0.30	0.43	0.70	0.61	0.71	0.68
	5	0.42	0.27	0.27	0.34	0.31	0.47	0.45	0.42	0.45
	6	0.54	0.53	0.28	0.44	0.55	0.81	0.54	1.00	0.78
	7+	0.54	0.53	0.28	0.44	0.55	0.81	0.54	1.00	0.78

Table 4 Annual catch from January to September, and population size in October obtained from virtual population analysis.

	Age	Year								
		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Catch in number from January to September (thousand)	1	6,916	6,358	10,717	1,249	1,987	4,380	32,900	5,997	13,825
	2	636	784	406	3,969	4,135	5,379	663	1,038	671
	3	178	247	443	643	1,248	751	887	197	292
Population size in number in October (thousand)	1	5,749	4,735	19,536	31,320	31,644	3,177	4,902	3,220	9,566
	2	2,904	3,204	2,823	5,957	3,767	4,419	948	1,732	1,515
	3	1,427	1,683	1,677	1,345	1,790	1,093	1,260	345	803

結 果

VPAによる資源量推定 VPAにより推定された東北海域における1995年から2003年のマダラの資源尾数は、1歳では890万尾から4300万尾の間で変動していた。1歳の漁獲係数(F)は2001年が2.24と非常に高かったが、他の年は0.80から1.51の間で比較的安定していた。同様に2歳の資源尾数は190万尾から1200万尾の間で変動しており、 F は0.19から1.19の間で変動していた。3歳の資源尾数は66万尾から370万尾の間で変動しており、 F は0.17から0.77の間で変動していた(Table 3)。

VPAにより推定された資源量と面積密度法により推定された資源量指数の比較 VPAによる資源量推定値と1月から9月の漁獲尾数を用い、1歳から3歳の10月時点の資源尾数を算出した(Table 4)。この資源尾数と面積密度法により推定された資源量指数(Table 2)を(10)式に合わせて対数変換し回帰分析を行った。その結果(Fig. 3)、1歳と2歳ではともに、回帰直線の傾

きは0と有意に異なり($p < 0.05$)、切片は0と有意に異ならなかった($p > 0.05$)。一方、3歳では傾きおよび切片ともに0と有意に異ならなかった($p > 0.05$)。以上より、1歳および2歳について q を推定した。

漁獲効率の推定 1歳および2歳について、 $M = 0.21 \sim 0.41$ の時のVPAによる資源量推定値(Table 5)および9月までの漁獲尾数(Table 4)より、10月時点の資源尾数をそれぞれ算出し(Table 6)、これと面積密度法により推定された資源量指数より漁獲効率 q_a を推定した。

その結果(Fig. 4)、1歳では、 $M = 0.31$ のとき q_1 は0.541(95%信頼区間; 0.371–0.791)と推定された。 M が小さい場合、 $M = 0.21$ では q_1 は0.624で、 M が大きい場合、 $M = 0.41$ では q_1 は0.462だった。2歳では、 $M = 0.31$ のとき q_2 は0.115(95%信頼区間; 0.065–0.204)と推定された。 M が小さい場合、 $M = 0.21$ では q_2 は0.134で、 M が大きい場合、 $M = 0.41$ では q_2 は0.096だった。両年齢とも、 q が大きいほど信頼区間が広くなる傾向がみられた。

Fig. 3 Relationships between population in numbers obtained from virtual population analysis and bottom-trawl survey for ages 1, 2 and 3.

Table 5 Annual population size of age 1 and 2 cods estimated using virtual population analysis for natural mortality were set at 0.21, 0.26, 0.31, 0.36 and 0.41

	Natural mortality	Year								
		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Population size in number of Age 1 (thousand)	0.21	12,681	11,234	32,470	37,204	38,043	8,068	40,289	9,724	25,318
	0.26	13,751	12,106	34,488	39,015	40,044	8,481	41,689	10,240	26,425
	0.31	15,048	13,138	36,757	41,012	42,252	8,943	43,196	10,815	27,644
	0.36	16,644	14,378	39,331	43,233	44,708	9,465	44,834	11,462	28,997
	0.41	18,641	15,887	42,281	45,730	47,465	10,064	46,629	12,198	30,516
Population size in number of Age 2 (thousand)	0.21	3,321	3,867	3,212	10,596	8,436	10,497	1,689	2,882	2,351
	0.26	3,797	4,347	3,584	11,253	8,896	11,036	1,808	3,103	2,500
	0.31	4,388	4,934	4,027	11,996	9,414	11,637	1,944	3,358	2,670
	0.36	5,132	5,657	4,558	12,843	10,005	12,314	2,102	3,653	2,864
	0.41	6,078	6,560	5,203	13,819	10,686	13,085	2,288	4,000	3,088

Table 6 Annual population size for age 1 and 2 in October for natural mortality were set at 0.21, 0.26, 0.31, 0.36 and 0.41

	Natural mortality	Year								
		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Population size in number of Age 1 in October (thousand)	0.21	4,424	3,705	17,782	30,558	30,591	2,833	3,966	2,752	8,816
	0.26	5,023	4,177	18,604	30,899	31,075	2,994	4,415	2,973	9,168
	0.31	5,749	4,735	19,536	31,320	31,644	3,177	4,902	3,220	9,566
	0.36	6,641	5,402	20,604	31,839	32,318	3,387	5,435	3,497	10,021
	0.41	7,752	6,209	21,839	32,479	33,119	3,631	6,028	3,813	10,546
Population size in number of Age 2 in October (thousand)	0.21	2,244	2,572	2,363	5,367	3,373	3,981	828	1,499	1,385
	0.26	2,541	2,858	2,575	5,642	3,557	4,186	884	1,607	1,445
	0.31	2,904	3,204	2,823	5,957	3,767	4,419	948	1,732	1,515
	0.36	3,353	3,624	3,117	6,318	4,011	4,685	1,023	1,877	1,596
	0.41	3,914	4,141	3,470	6,739	4,297	4,992	1,110	2,045	1,691

考 察

本研究では、VPA による資源量推定値をもとに、ト

ロール調査結果を用いた面積密度法の漁獲効率を推定した。このような方法で漁獲効率を求める場合、VPA による推定結果が頑健であることが必要である。一般に

Fig. 4 Fishing efficiencies for ages 1 and 2 (filled circles). Fishing efficiency was estimated for natural mortality of 0.21, 0.26, 0.31, 0.36 and 0.41. Vertical bar indicates the 95% likelihood ratio confidence interval.

VPA では、漁獲圧が強いほど推定値は信頼できる。²⁰⁾ 本研究で推定された東北海域におけるマダラの漁獲係数は、1995 年から 2002 年の平均では 1 歳魚と 2 歳魚でそれぞれ 1.14, 0.67 であった。これらは漁獲率ではそれぞれ 58%, 45% であり、本資源の漁獲圧が高いことを示している。さらに、年別半年ごとの Age-length key および漁獲統計を用いたため、漁獲物の年齢分解の精度も高く、本研究で用いた VPA の結果の信頼性は高いと考えられる。

1 歳魚の漁獲係数は 2 歳魚よりもかなり大きかったが、この原因としては主として以下の 2 つが挙げられる。後述するようにトロール漁業では 2 歳魚以上が漁獲されにくいいため相対的に 1 歳魚のほうが漁獲されやすく、東北海域ではトロール漁業による漁獲の割合が多くを占めるため、トロール漁業の漁獲の傾向が強く反映されること。次に、1 歳魚が 2 歳魚よりも浅い水深帯に分布し、³⁾ 港から近い沿岸寄りで主に漁獲されるためなどが考えられる。

VPA を用いる際、最高齢の漁獲係数に (6) 式の仮定を、最近年の漁獲係数に (7) 式の仮定をそれぞれ用いた。前者については、高齢魚の資源量推定値に誤差が生

じる要因となる。本研究では漁獲効率の推定には 1 および 2 歳の資源量推定値を用いている。(4) 式を用いた場合、各コホートとも若齢ほど各年齢の漁獲尾数が累積され、これは最高齢の資源尾数よりも充分大きいことから、これら若齢の資源量推定値に対する高齢魚の推定誤差の影響は無視できるほどである。後者について、漁獲効率の推定には最近年を除いた 2002 年以前の VPA による資源量推定値を用いたので、 q の推定に与える影響は小さい。最近年の漁獲係数に過去 3 年平均を用いる (7) 式の他に、前年の漁獲係数を用いた場合および過去 5 年平均の漁獲係数を用いた場合について得られた資源量推定値をもとに漁獲効率を推定したところ、1 歳では $q_1 = 0.541$ に対し 0.524 および 0.538, 2 歳では $q_2 = 0.115$ に対し 0.115 および 0.113 と (7) 式を用いる場合とかなり近かった。これらより、最高齢および最近年の漁獲係数について用いた仮定の、漁獲効率の推定に与える影響は極めて小さいといえる。

漁獲効率へ影響する魚体のトロール網への入網過程について、Godø²²⁾ は次のように述べている。網口の接近にしたがい、魚は曳網方向と同じ向きに泳ぎ、網からの逃避を試みる。その際、グランドロープ下部およびヘッドロープ上方からの逃避が可能であるが、マダラはストレス下では海底沿いに遊泳するので、グランドロープ下部からの逃避が大部分と考えられる。²²⁾ 本種のグランドロープ下部からの逃避は、藤田ら²³⁾ にも観察されている。逃避しなかった魚は疲労により入網する。²²⁾ 大西洋マダラの遊泳能力について、He²⁴⁾ は体長 36~52 cm (BL) の個体について、最大持続遊泳速度を 0.9~1.0 BL/s, 遊泳速度 3 BL/s における最大遊泳時間を 1 分と推定している。Winger *et al.*²⁵⁾ は同様に 41~86 cm (BL) の個体について、最大持続遊泳速度を 0.66 m/s, 遊泳速度 1.30 m/s における最大遊泳時間を 1.3 分と推定している。以上の知見が東北海域のマダラにもあてはまると仮定すると、東北区水産研究所が行った着底トロール調査は曳網速度 2.5~3.5 ノットであり、これは 1.29~1.80 m/s であるので、網の前にいた個体のほとんどはグランドロープ下部から逃避するか、または入網するかのいずれかであったと推察される。

東北海域におけるマダラ 1 歳魚の漁獲効率は 0.541 と推定された。本研究では、トロール調査と VPA という互いに独立な手法から得られた資源量から漁獲効率を推定した。このような方法で推定された漁獲効率は、補助網やビデオカメラを用いて求められた値が網の前にいた個体の入網率のみを反映しているに対し、魚体と網の遭遇率による影響も受ける。東北海域における本種の 1 歳魚では、調査範囲が分布域を網羅していることから、²⁾ 1 歳魚の漁獲効率は、主に網への入網率を反映した値であると推察される。

本種2歳魚の漁獲効率 q は0.115で、1歳魚(0.541)に比べかなり小さい値であった。大西洋マダラのグランドロープ下部からの逃避について、Munro and Somerton⁵⁾やWeinberg et al.⁶⁾は、体長23 cmもしくは33 cm以上であれば、漁獲される個体の体長による影響を受けにくいとしているが、Godøによれば大型個体ほど逃避が少なく、²²⁾これらの結果はグランドロープ周辺の形状等によるものと考えられる。本研究で推定された漁獲効率も魚体の入網率のみで決定されると仮定した場合、2歳の漁獲効率が1歳より小さいという結果は以上の知見と矛盾する。マダラは若齢期には沖合を回遊し、加齢に従い岩礁域に生息場所を移すと考えられ、それぞれ沖ダラ、根ダラと呼ばれており、²⁶⁾1歳魚と2歳魚でも分布範囲が異なると考えられている。²⁷⁾底層トロール調査では、底質など地形上の要因により、調査対象種の分布域全てにおいて曳網するのは不可能な場合もあり、²²⁾特に網の破損等の危険性が高い岩礁域等を避けて操業が行われることが多い。したがって、本種では高齢ほどトロール網との遭遇率が下がり、漁獲されにくいと考えられる。この傾向は漁業でも観測されており、トロール調査が行われる下半期の、マダラの漁獲尾数に占めるトロール漁業による割合は、1歳で96%、2歳で27%、3歳で15%であった(いずれも2000~2003年の平均)。これらに対し、東北海域ではトロール調査やトロール漁業が不可能な海域でも延縄や刺網によりマダラは漁獲されており、VPAに用いた漁獲体長組成から、それらのほとんどは体長35 cm以上で2歳以上であった。VPAにはトロール漁業だけでなく、延縄や刺網による漁獲も含んだ年齢組成を用いているので、VPAによる資源量推定値は、トロール調査に基づく面積密度法よりも実際の資源の年齢構成を反映しているといえる。以上により1歳と2歳の漁獲効率が異なると考えられ、2歳の漁獲効率は、網の前にいた個体の入網率に加え、魚体と網の遭遇率による影響も受けている可能性が示唆された。

自然死亡係数 M について、 $M=0.21\sim0.41$ の5種類の値を用いて漁獲効率 q を推定したところ、 M が小さくなるにつれて q が大きくなる傾向が見られた。これは、VPAでは M が小さいほど過去の資源量が小さくなり、面積密度法による資源量指数との差が小さくなるからである。本研究で解析した1歳以上では年齢によらず一定の M を用いた。東北海域のマダラ1歳魚の体長は、4月には18~23 cm、²⁸⁾10月には30~35 cm程度で、³⁾本海域で漁獲される魚種の中では比較的大型である。また、本種が底魚群集において最高位の高次捕食者であることから、²⁹⁾被食は極めて少ないと推察され、1歳以上では自然死亡係数の変化は少ないと考えられるためである。

VPAでは年ごとの漁獲統計が整備された後に資源量推定が可能であるので、たいいていの場合資源管理のためには最低一年の時間遅れが生じる。したがって、調査船の運航が可能であれば、トロール調査による資源量推定は解析結果の速報性の点で有効な手法である。東北海域におけるマダラのトロール調査による資源量推定値の、調査点ごとのばらつきを示す変動係数は、2003年では1歳と2歳でそれぞれ0.16、0.23であったが、同じタラ科であるスケトウダラではマダラよりかなり大きく、それぞれ0.74、0.52であった。これは東北海域のスケトウダラが「太平洋系群」の一部であり北海道側との移動があるためであると考えられる。これに対し、東北海域のマダラは北海道側に分布する群とは異なる系群であり、³⁰⁾資源の閉鎖性が前提となる、トロール調査やVPAによる資源量推定にも適しているといえる。トロール調査による東北海域における底魚の資源量推定は1995年から行われている。今後、再生産関係の検討などのためには長期的な資源量の情報が必要であり、そのため過去の漁獲統計を整備し、VPAを用いて1994年以前の資源量を推定することも必要であろう。

本研究で推定された漁獲効率を用いることにより、面積密度法を用いた東北海域におけるマダラ1歳魚および2歳魚の資源量推定精度の向上が期待される。一方、親魚である3歳以上については、トロール調査による漁獲個体数が少なく、VPAによる推定資源尾数とのあいだに有意な正の相関も見られなかったことから、推定精度の評価は困難である。再生産関係を考慮した資源管理を目指す場合、精度の高い親魚量の推定は不可欠である。本資源では漁獲統計とトロール調査による資源量指数を用いることができるので、チューニングVPAを適用することで、トロール調査よりも精度良く親魚量を推定できる可能性がある。直接推定法と漁獲統計を用いる推定法の利点を生かした、東北海域のマダラ資源により適した資源量推定法を検討していくことが今後の課題である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、草稿に有益な助言を頂いた水産総合研究センター東北水産研究所八戸支所長澤和也博士に深く感謝申し上げます。宮城県の漁獲統計を提供して頂いた宮城県水産研究開発センターの末永明雄氏、岩手県の漁獲統計を提供して頂いた岩手県水産技術センターの後藤友明氏に深く感謝申し上げます。なお、本論文は東北水産研究所業績(B70)である。

文 献

- 1) Bakkala RG, Westrheim SJ, Mishima S, Zhang CI. Distribution of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the North

- Pacific Ocean. *Int. North Pac. Fish. Comm.* 1984; **42** (Bull): 111-115.
- 2) 北川大二, 服部 努, 成松庸二. 東北海域における底魚資源のモニタリング. 月刊海洋 2002; **34**: 793-798.
 - 3) 成松庸二, 伊藤正木, 服部 努, 岩崎高資, 南部竜也, 平川直人, 岡本亮介. 2003 年の底魚類現存量調査結果. 東北底魚研究 2004; **24**: 69-78.
 - 4) Sormerton DA, Otto RS. Net efficiency of a survey trawl for snow crab, *Chionoecetes opilio*, and tanner crab, *C. bairdi*. *Fish. Bull.* 1999; **97**: 617-625.
 - 5) Munro PT, Somerton DA. Estimating net efficiency of a trawl for flatfishes. *Fish. Res.* 2002; **55**: 267-279.
 - 6) Weinberg KL, Somerton DA, Munro PT. The effect of trawl speed on the footrope capture efficiency of a survey trawl. *Fish. Res.* 2002; **58**: 303-313.
 - 7) 渡部俊広, 渡辺一俊, 北川大二. ズワイガニ類とキチジに対するトラール網の採集効率 (要旨). 東北底魚研究 2002; **22**: 32-33.
 - 8) 渡部俊広, 北川大二. 曳航式深海用ビデオカメラを用いたズワイガニ類に対する調査トラール網の採集効率の推定. 日本誌 2004; **70**: 297-303.
 - 9) Hilborn R, Walters CJ. *Quantitative fisheries stock assessment*. Chapman and Hall, London. 2002; 349.
 - 10) 桜本和美. 「漁業管理の ABC」成山堂書店, 東京. 1998; 45.
 - 11) 東北区水産研究所八戸支所. 太平洋北区沖合底びき網漁業漁場別漁獲統計資料, 東北区水産研究所, 八戸. 1997-2005.
 - 12) 東北農政局青森統計・情報センター. 青森県漁業の動き, 青森県農林水産統計協会, 青森. 1996-2004.
 - 13) 東北農政局盛岡統計・情報センター. 岩手県漁業の動き, 東北農政局盛岡統計・情報センター, 盛岡. 1997-2005.
 - 14) 東北農政局統計部. 宮城県漁業の動き, 宮城県農林統計情報協会, 仙台. 1997-2005.
 - 15) 東北農政局福島統計・情報センター. 水産業の動向 (福島), 東北農政局福島統計・情報センター, 福島. 1997-2005.
 - 16) 関東農政局水戸統計・情報センター. 茨城県漁業の動向, 関東農政局水戸統計・情報センター, 水戸. 1997-2005.
 - 17) 桜井泰憲, 福田慎作. 陸奥湾に來遊するマダラの年齢と成長. 青森県水産増殖センター研究報告 1984; **3**: 9-14.
 - 18) 服部 努, 桜井泰憲, 島崎健二. マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式. 日本誌 1992; **58**: 1203-1210.
 - 19) Pope JG. An investigation of the accuracy of virtual population analysis. *ICNAF Res. Bull.* 1972; **9**: 65-74.
 - 20) 平松一彦. VPA (Virtual Population Analysis). 平成 12 年度資源評価体制確立推進事業報告書—資源解析手法教科書一, 社団法人日本水産資源保護協会, 東京. 2001; 104-128.
 - 21) 田中昌一. 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報 1960; **28**: 1-200.
 - 22) Godø OR. Factors affecting the reliability of groundfish abundance estimates from bottom trawl surveys. In: Fernö A, Olsen S (eds). *Marine fish behavior in capture and abundance estimation*. Fishing News Books, Oxford. 1994; 166-199.
 - 23) 藤田 薫, 松下吉樹, 後藤友明. 底曳網に対するタラ類の行動. 日本水産学会漁業懇話会報 2003; **47**: 54-55.
 - 24) He P. Swimming endurance of Atlantic cod, *Gadus morhua* L., at low temperatures. *Fish. Res.* 1991; **12**: 65-73.
 - 25) Winger PD, He P, Walsh SJ. Factors affecting the swimming endurance and catchability of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2000; **57**: 1200-1207.
 - 26) 松原喜代松. 沖鰯及び根鰯に就て I. 年齢組成, 全長および体重. 日本誌 1938; **6**: 249-250.
 - 27) 橋本良平. 東北海区漁場におけるマダラの食性と生息水深の変動に関する研究. 東北水研報 1974; **33**: 51-67.
 - 28) 服部 努, 伊藤正木, 成松庸二. マダラ・スケトウダラ新規加入量調査. 東北底魚研究 2004; **24**: 146-147.
 - 29) 桜井泰憲. 10. マダラおよびサンマ. 「水産動物の成長解析」(赤嶺達郎・麦谷康雄編) 恒星社厚生閣, 東京. 1997; 106-107.
 - 30) 菅野泰次, 上田祐司, 松石 隆. 東北地方および北海道太平洋側海域におけるマダラの系群構造. 日本誌 2001; **67**: 67-77.