福島県北部海域におけるイシガレイ漁業の 価格関数を用いた管理について

山口 由二, 山田作太郎, 平山 信夫

(1991 年 9 月 25 日受付)

Management of Gill Net Fishing for Stone Flounder off the Northern Coast of Fukushima Pref. Based on the Price Function

Yuji Yamaguchi,* Sakutarō Yamada,* and Nobuo Hirayama*

Our aim in this paper is to study the fishing management of stone flounder *Kareius bicoloratus* off the northern coast of Fukushima Pref. As the basis for such management, we investigated the price function of stone flounder each month at Souma-Haragama fish market. Using this price function, the total combination of monthly efforts throughout a year of gill net fishing which maximizes the catch amount in yen was obtained by the Multi-Stage Monte Carlo Optimization method. Comparing this with those that maximize the catch amount in yen calculated after changing to a constant price each month, we found that it was necessary to consider price as a function of catch amount.

福島県北部海域 (Fig. 1) は異体類資源の好漁場でも
に固定式刺網漁業や底曳網漁業によって漁獲が行われて
いる。当漁場の漁獲物は沿岸の新地, 相馬原釜, 磯部,
請戸, 富熊などの相馬・双葉地区の市場に水揚げされ,
特に, イシガレイ, マコガレイ, ヒラメ, パパガレイは
活魚, 鮮魚に区分した上でせりにかけられている。当地
の異体類は一般に「ひたちもの」と呼ばれ, 高い評価を
受けており, 東京, 名古屋などの大都市の中央市場にも
出荷されている。

本論では, この漁場に面した, 相馬・双葉地域の新
地・相馬原釜・磯部・鹿島・請戸・富熊の各漁協に属す
る固定式刺網をおもに操業する小型船 652 船 (1985 年
現在) と小型底曳網船 45 船 (1985 年現在) を研究対象
として, イシガレイ *Kareius bicoloratus* 資源に対する刺
網漁業の管理について研究した。先に挙げた異体類 4 種
のうち, イシガレイは最も重要な魚種のひとつで当地区
の漁獲金額の合計は 904 百万円である。特に刺網漁業で
はおもな対象魚種となっており, 漁業者が漁場や網地の
選定についてイシガレイの体長や生息域を考慮した上で
操業することも多い。また固定式刺網で漁獲されたイシ
ガレイの 90% 以上が活魚として高価格で取引されてお
り, イシガレイの漁獲金額は刺網総漁獲金額の 38.4%
にあたる (1985 年)。

福島県水産試験場 (以後, 福島水試と呼ぶ) は多年に
わたって同地域の異体類資源の解析及び管理について研

Fig. 1. Location of fishing ground of gill net fishery off the northern coast of Fukushima Pref.

* 東京水産大学資源管理学科 (Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108, Japan).

Table 1. Monthly landing amount in kg (upper) and price* (yen/kg) (lower) of stone flounder at Souma-Haragama fish market

Month	Year											
	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Jan.	21,883	18,987	14,285	21,307	9,008	11,289	24,391	21,382	16,018	21,303	10,490	11,370
	1,126	1,267	1,338	1,239	1,146	1,794	1,350	1,034	1,486	1,531	1,936	1,589
Feb.	11,199	3,554	5,980	5,231	2,879	4,199	10,978	3,329	6,954	9,804	3,999	5,386
	1,272	1,770	2,452	1,887	1,777	2,411	1,580	1,607	2,056	1,802	2,028	2,130
Mar.	11,412	11,467	12,041	11,554	6,807	2,749	5,278	10,667	10,957	12,238	9,087	7,420
	1,607	2,389	2,566	2,222	2,368	2,481	2,406	1,995	2,350	2,098	2,429	2,336
Apr.	21,377	20,304	8,723	13,809	5,494	3,402	2,479	16,289	12,637	13,559	15,995	13,362
	1,753	2,108	2,183	2,040	1,850	2,383	2,258	1,788	1,829	1,727	1,937	2,240
May	40,369	26,970	12,320	10,488	11,627	3,816	9,398	25,912	20,644	34,956	27,213	21,103
	1,316	1,609	1,427	1,587	1,564	2,671	1,929	1,497	1,608	1,693	1,724	1,928
June	30,078	15,242	27,795	13,676	15,037	6,058	16,860	23,250	18,149	29,290	14,011	13,489
	1,593	1,528	1,311	1,803	2,716	2,323	1,681	1,509	1,392	1,652	2,215	2,443
July	13,110	24,531	27,259	19,532	15,568	2,728	7,934	10,936	6,885	22,051	12,338	5,355
	2,247	2,032	1,489	2,026	2,841	3,097	2,126	2,336	2,548	2,273	2,501	3,259
Aug.	6,288	18,692	20,346	13,219	5,775	7,593	12,176	5,746	6,044	19,547	8,342	3,684
	2,765	2,337	2,156	2,915	3,337	2,895	2,394	2,849	2,693	2,443	3,137	3,848
Sep.	29,267	43,315	38,180	23,928	24,742	33,326	34,047	19,505	26,273	47,504	23,246	18,687
	2,269	1,991	2,098	2,394	2,486	2,153	1,326	1,877	1,663	1,893	2,340	2,216
Oct.	37,201	28,430	40,563	29,601	18,168	29,799	37,197	26,297	28,638	32,233	25,300	23,475
	2,023	2,306	2,082	2,088	2,496	2,050	1,709	1,752	1,666	1,865	2,297	2,489
Nov.	51,084	39,931	27,915	21,785	17,540	21,573	44,462	22,363	40,533	64,499	31,173	16,922
	1,327	1,088	1,715	1,848	2,036	1,583	1,121	1,338	1,400	1,120	1,876	2,156
Dec.	83,487	93,967	46,989	26,831	36,856	52,574	34,639	53,289	55,182	69,124	38,285	18,596
	1,000	634	1,400	1,680	1,747	1,478	1,150	1,283	1,163	1,033	1,675	2,319
Total	376,052	365,614	303,208	233,011	194,117	204,948	309,719	258,547	269,603	396,206	243,900	185,482
Avg.	1,501	1,486	1,771	1,962	2,190	1,925	1,439	1,568	1,573	1,591	2,057	2,276

* Price adjusted by wholesale price index of foods.

究を行ってきている。^{*1-3} 特に、4 種（ヒラメ、マガレイ、マコガレイ、イシガレイ）では固定式刺網、底曳網の漁業管理の研究がある。^{*3} この研究では、漁獲利益の最大化を目的関数としているが、月別に一定価格を仮定して漁獲金額を求めている。また、菊地ら¹⁾ は本研究と同じ福島県北部のイシガレイ資源について限られた期間内（1 年）での最適漁獲方策について研究しているが、これにおいても価格が水揚量と独立と仮定して、各月に一定値（固定価格）を与えてその方策を求めている。本研究では資源に一定数の加入があり、管理期間が継続的で、水揚量に依存する価格関数を仮定して、管理方策を求めるを試みる。なお、漁業管理の目的関数として漁獲金額を採用する。このように水揚量に依存する価格関数を用いて求めた管理方策と、月別一定価格として求めた管理方策を比較した上で、漁業管理方策を作成する際に、水揚量に依存する価格関数を考慮することの必要性を議論する。

また、水産物の価格形成については、多屋²⁾ の研究があるが、そこでは多獲性魚と養殖魚などを主な対象として、それらの価格の経年変動について水揚量、在庫量、代替品の入荷量などを説明変数として分析している。本研究では漁業管理に利用する目的で、当地域のイシガレイ価格と水揚量の経月変化について分析した。

方 法

価格関数 魚価の決定要因として、魚体重、鮮度、水揚量、消費地市場価格、代替魚種の価格、消費者嗜好の変化、社会情勢など、様々な要因が考えられる。このうち、水揚量は他の要因と違い、生産者がある程度調整することのできる変数であると共に価格変動を決定する最も重要な要因であると考えられることから、これについて分析を行った。市場データとして、福島県相馬原釜魚市場におけるイシガレイの過去 12 年間（1979 年～1990 年）の月別水揚量と月別水揚金額とを用いた（Table 1

Fig. 2. Relationship between catch amount in kg and price (yen/kg) each month for 12 years in Souma-Haragama fish market. Open circles and dotted lines in the figures show the intrinsic price and estimated curves, respectively.

*1 福島県水産試験場編：昭和 59 年～61 年度，福島県沿岸域漁業管理適正化方式開発調査事業最終報告書，福島県，いわき，1987。

*2 福島県水産試験場編：昭和 62 年度漁業高度管理適正化方式開発調査事業報告書，福島県沿岸域海域，福島県，いわき，1988。

*3 福島県水産試験場編：昭和 63 年度漁業高度管理適正化方式開発調査事業報告書，福島県沿岸域海域，福島県，いわき，1989。

Fig. 3. Relationship between catch amount in kg and logarithm of price. Numbers in the figure show the year in which the data was taken.

参照)。当市場は、調査域の中で最も水揚量の多い市場で、イシガレイの全体の 68% が水揚げされる。また同市場では調査域中の他市場と比べて 5% から 10% 程度高い価格で取引され、価格決定に関して指導的役割を担っている（現地聞き取り調査より）。このデータを卸売物価指数（農林水産物、1985 年を基準年とする。日本銀行調べ）を用いて基準化した上で月別平均価格（円/kg）（以後、“価格”と呼ぶこととする。）をまず計算した（Table 1 参照）。過去 12 年の月ごとの価格と水揚量をそれぞれ縦軸と横軸としてプロットすると Fig. 2 のようになる。同図によると、1~4 月では水揚量の変動が乏しいために、水揚量と価格との関係は明らかではない。それに対して、5~12 月では水揚量が多い場合、価格が下落する傾向が見られる。特に 11~12 月ではその傾向はより明確である。福島県北部海域ではイシガレイの産卵期は 12 月中で、期間中沿岸に接近するため、11~12 月の当市場の（特に刺網による）水揚量は一年通じて最も多く、相対的に同月の水揚量の年変動も大きい。そのために、水揚量と価格の関係が明確であると考えられる。

そこで 12 月のデータを用いて、水揚量と価格の関係を求めることとする。同関係式（以後、この関係式を水揚量一価格関係式と呼ぶ。）として指数関数、

$$P(12, y) = P(12, 0) \cdot \exp(\alpha \cdot y) \quad (1)$$

を用いることとする。ここで、 $P(12, y)$ は、12 月の漁獲量 y (kg) の時の価格（円/kg）である。また、 $P(12, 0)$ は 12 月の水揚量 0 kg に外挿した時の理論値で、潜在価格（intrinsic price, Fig. 2 中の白丸）と呼ぶこととする。また、 α は一般に負の定数である。この係数 $P(12, 0)$ と α を求めるために次のように線形化する。

$$\ln \{P(12, y)\} = \alpha y + \beta \quad (2)$$

ここで、 β は $\ln \{P(12, 0)\}$ である。価格の対数値 $\ln \{P(12, y)\}$ の水揚量 (y) に対する回帰分析を行った結果 $\alpha = -1.306$, $\beta = 7.899$, 相関係数 $R = 0.925$ となる (Fig.

Table 2. Monthly changes of intrinsic price $P(i, 0)$ and average price $P(i, \cdot)$

i	month	$P(i, 0)$	$P(i, \cdot)$
1	Jan.	1,717	1403
2	Feb.	2,023	1897
3	Mar.	2,526	2254
4	Apr.	2,343	2008
5	May	2,198	1713
6	June	2,291	1847
7	July	2,821	2398
8	Aug.	3,191	2814
9	Sep.	3,011	2059
10	Oct.	3,022	2069
11	Nov.	2,331	1550
12	Dec.	2,693	1380

3)。ここで、各月の水揚量一価格関係式は潜在価格が変わっても、価格 $P(t, y)$ の相対的な変化率は変わらない（つまり、 α : 一定）と仮定する。

この仮定下で、 t 月 ($t=1\sim 11$) の潜在価格 $P(t, 0)$ を推定した (Table 2 参照)。このように推定された潜在価格を較べると、7~10 月の潜在価格が高くなっている。この理由として、活魚の割合の変化、7, 8 月が底曳網漁業の禁漁期で漁獲物の品質が多少良くなること、およびこの時期がイシガレイの旬（夏期・秋期）であると地元で言われていることなどが考えられる。以上により推定された α と潜在価格 $P(t, 0)$, ($t=1\sim 12$) を (1) 式に当てはめ、各月についてグラフで示すと Fig. 2 の曲線のようになる。

生物的特徴 当地域のイシガレイのおもな漁場は相馬原釜沖と請戸沖の水深 100 m 以浅であり、成魚の生息域も同様と考えられる。産卵期 (12 月) には 20~50 m 水深の粗砂泥質に集群し産卵する。また、稚仔魚は松川浦や同地域に流入する河川の河口域などの 2 m 以浅で多数採集され、成長するにしたがって、沖合に生息域を移すと考えられる。^{8, 4)} このようなことから、当海域のイシガレイ資源は閉鎖性をもっているとして研究を進めることとする。

イシガレイの成長は他の異体類と同様に雌雄で差があることが知られている。また、同じイシガレイでも生息域により成長に違いがあることが予想される。そこで、福島水試による、当海域のイシガレイの雌雄別の魚体重 W (kg) の成長式として von Bertalanffy 式、

イシガレイ・メス

$$W = 2.538 \{1 - \exp(-0.333a + 0.097)\}^3 \quad (3)$$

イシガレイ・オス

$$W = 0.539 \{1 - \exp(-0.307a + 1.675)\}^3 \quad (4)$$

を本研究では用いることとする（各係数は福島水試の推

定値*)。ただし、 a は年齢を示す。

自然死亡係数 M については、福島水試が雌で 0.2 (year⁻¹), 雄で 0.3 (year⁻¹) と推定しており,* これらの値を用いることとする。

漁獲努力量・漁具能率 イシガレイを対象とするおもな漁業は底曳網漁業と固定式刺網漁業である。その努力量としてそれぞれ、曳網回数 (e_T) と延べ使用反数 (使用反数×浸漬日数) (e_C) を用いた。当海域での固定式刺網漁業は年間の漁獲時期で使用網地の目合に変化のあることや、索餌行動や産卵行動などにより魚の捕れ易さが時期により変化することから、漁具能率 $q(a, t)$ は漁獲月 t と漁獲魚年齢 a とに依存するとして、次のような漁獲方程式を仮定した。

$$C_{ji}(a, t) = \frac{F_{ji}(a, t)}{F_i(a, t) + M_i} \cdot [1 - \exp\{-F_i(a, t) - M_i\}] \cdot N_i(a, t) \cdot W_i(a, t) \quad (5)$$

ただし、

$$F_i(a, t) = F_{Gi}(a, t) + F_{Ti}(a, t) \\ F_{ji}(a, t) = q_{ji}(a, t) \cdot e_j(t)$$

である。ここで、 i と j は雌雄 ($i=1$: メス, $i=2$: オス) と漁法 ($j=G$: 固定式刺網, $j=T$: 底曳網) をそれぞれ示す。漁具能率 $q_j(a, t)$ を推定するために、1985 年の初期資源量 $N_i(a, t)^*$ と、固定式刺網漁業と底曳網漁業とによる月別年齢別雌雄別漁獲尾数 $C_{ji}(a, t)$ (サンプル調査による推定値)* と、自然死亡係数 M とを用いて、1985 年の各月の雌雄別年齢別資源尾数 $N_i(a, t)$ をまず推定す

Table 3. Monthly change of fishing coefficients (10⁻²·month⁻¹) and fishing efforts (day·boat) for each age by trawl net fishery

Sex	Age	Month											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
female	1	0.0	0.0	0.8	0.3	0.1	0.1	0	0	1.8	1.9	1.5	0.5
	2	1.2	1.8	1.3	0.5	1.1	0.7	0	0	7.8	9.5	9.5	4.9
	3	1.2	1.1	0.0	0.0	1.5	1.0	0	0	4.5	5.7	6.3	6.3
	4	2.3	2.6	0.0	0.0	1.6	1.0	0	0	1.0	2.6	19.2	12.6
	5	2.5	7.1	0.0	0.0	0.3	0.2	0	0	0.0	4.4	16.8	22.8
male	1	0.1	0.1	0.5	0.2	0.0	0.0	0	0	0.4	0.8	1.5	0.7
	2	5.6	4.3	1.1	0.8	0.4	0.2	0	0	2.7	1.3	4.5	2.4
	3	4.3	1.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0	0	1.5	0.0	0.9	1.1
	4	2.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	5.6	0.0	7.7	1.4
	5	2.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	2.7	0.0
$e_T(t)^*$		1145	901	432	3123	3349	1225	0	0	6552	6906	6028	3848

* fishing efforts of trawl net (number of operations).

Table 4. Monthly change of catchability coefficients (10⁻⁸/day·sheet·month) and fishing efforts (10³·day·sheet) for each age by gill net fishery

Sex	Age	Month											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
female	1	0.00	0.06	0.10	0.23	0.25	0.14	0.08	0.37	0.68	0.56	0.52	0.82
	2	0.83	2.82	0.99	1.71	1.24	1.85	0.92	1.14	0.78	2.29	1.24	2.50
	3	1.59	4.11	1.05	1.60	0.57	1.91	1.56	0.39	0.07	1.46	0.57	0.67
	4	2.91	7.48	1.21	1.76		0.42	0.40	0.00		0.45	1.05	0.00
	5	2.88	3.50	0.59			0.06	0.49	0.21		0.13	0.23	0.16
male	1	0.03	0.02	0.02	0.01	0.12	0.03	0.10	0.19	0.17	0.14	0.40	4.16
	2	3.82	0.71	0.02	0.04	0.20	0.20	0.39	0.67	0.52	0.25	0.83	8.17
	3	3.89	0.90						0.44	0.42		0.00	3.51
	4	3.47	0.08							0.07		1.02	4.27
	5	3.68	2.38									0.91	
$e_C(t)^*$		549	169	262	146	414	550	980	743	330	466	396	932

* fishing effort of gill net (10³·day·sheet)

* 福島県水産試験場編：昭和 59 年～61 年度，福島県沿岸域漁業管理適正化方式開発調査事業最終報告書，福島県，いわき，1987。

る。そして、雌雄別年齢別月別の底曳網漁業の漁獲係数 (month⁻¹) (Table 3), 刺網漁業の漁具能率 (Table 4) を推定した。

目的関数 一定加入尾数 R_i を仮定して、固定式刺網漁業において最大漁獲金額を獲得する方策を検討する。制御変数を t 月の延べ使用反数 $e_o(t)$ として、目的関数を次のようにする。

$$\text{maximize} \left\{ \sum_{t=1}^2 \sum_{a=1}^{a_{\max}} \sum_{i=1}^{12} [P(t) \cdot C_{oi}(a, t)] \right\} \quad (6)$$

ここで、 $a_{\max}$ は漁獲の最高年齢である。(6) 式に (5)

式を代入すれば (6) 式は、

$$\begin{aligned} & \text{maximize}_{\{e_o(t); 1 \leq t \leq 12\} \in E} \left\{ \sum_{t=1}^2 \sum_{a=1}^{a_{\max}} \sum_{i=1}^{12} [P(t) \cdot W_i(a, t)] \right. \\ & \quad \cdot \frac{q_{oi}(a, t) \cdot e_o(t)}{(q_{oi}(a, t) \cdot e_o(t) + F_{Ti}(a, t) + M_i)} \\ & \quad \cdot \{1 - \exp(-q_{oi}(a, t) \cdot e_o(t) - F_{Ti}(a, t) - M_i)\} \\ & \quad \left. \cdot N_i(a, t) \right\} \quad (7) \end{aligned}$$

ここで、資源量 $N_i(a, t)$ と価格 $P(t)$ はそれぞれ、

$$N_i(a, t) = R_i \cdot \prod_{j=1}^{a-1} \prod_{k=1}^{12} \exp\{-q_{oj}(j, k)\}$$

Table 5. Result of the simulation for maximizing catch of the gill net fishery for stone flounder off northern part of Fukushima Pref., using several recruitment levels

(a) Monthly operating rate

R_i^{*1} ($\times 10^3$)	Month												Avg.
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
400	0.13	0.11	1.00	0.53	0.00	0.87	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	7.19
800	0.33	0.18	1.00	0.64	0.37	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	7.77
1200	0.42	0.23	1.00	0.71	0.66	0.93	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71	8.05
1600	0.45	0.26	1.00	0.75	0.86	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.62	8.25
2000	0.46	0.29	1.00	0.79	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.56	8.40
2400	0.48	0.31	1.00	0.82	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.52	8.44
2800	0.49	0.32	1.00	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	0.49	8.43

(b) Monthly catch ($10^5 \cdot \text{kg}$) and proportions in year

R_i	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
400	1.7	2.2	5.6	4.7	0.0	7.7	5.1	6.0	5.5	8.5	6.1	17.7	70.8
(%) ^{*2}	(2.4)	(3.2)	(7.9)	(6.6)	(0.0)	(10.8)	(7.2)	(8.4)	(7.7)	(12.0)	(8.6)	(25.1)	(100)
800	8.1	6.7	10.4	10.5	4.1	14.1	9.0	11.0	10.3	15.5	11.4	31.1	142.2
(%)	(5.7)	(4.7)	(7.3)	(7.4)	(2.9)	(9.9)	(6.3)	(7.8)	(7.3)	(10.9)	(8.0)	(21.9)	(100)
1200	16.1	12.5	15.0	16.9	10.5	20.5	12.7	16.0	15.2	22.2	16.6	38.3	212.3
(%)	(7.6)	(5.9)	(7.1)	(7.9)	(4.9)	(9.6)	(6.0)	(7.5)	(7.1)	(10.4)	(7.8)	(18.0)	(100)
1600	23.5	18.4	19.6	23.3	17.8	27.0	16.2	20.8	19.9	28.5	21.8	45.3	282.2
(%)	(8.3)	(6.5)	(7.0)	(8.2)	(6.3)	(9.6)	(5.7)	(7.4)	(7.1)	(10.1)	(7.7)	(16.1)	(100)
2000	30.4	25.3	24.1	30.1	24.9	33.9	19.6	25.5	24.6	34.7	26.9	51.9	351.9
(%)	(8.6)	(7.2)	(6.9)	(8.5)	(7.1)	(9.6)	(5.6)	(7.3)	(7.0)	(9.9)	(7.6)	(14.7)	(100)
2400	38.5	32.3	28.7	37.1	30.2	40.2	23.2	30.5	29.4	41.2	32.2	58.4	421.8
(%)	(9.1)	(7.6)	(6.8)	(8.8)	(7.1)	(9.5)	(5.5)	(7.2)	(7.0)	(9.8)	(7.6)	(13.8)	(100)
2800	46.3	38.8	33.4	44.1	35.0	46.7	27.0	35.5	34.3	48.0	37.5	64.9	491.5
(%)	(9.4)	(7.9)	(6.8)	(9.0)	(7.1)	(9.5)	(5.5)	(7.2)	(7.0)	(9.8)	(7.6)	(13.2)	(100)

(c) Monthly catch (10^6 yen)

R_i	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Total	^{*3}
400	2.8	4.4	13.4	10.5	0.0	16.3	13.7	18.1	15.2	23.1	13.0	40.1	170.7	426.7
800	12.7	12.4	23.5	22.2	8.6	28.3	23.4	32.0	26.8	38.6	22.5	61.7	312.6	390.8
1200	23.0	21.7	32.5	33.7	20.7	38.7	32.0	44.3	36.7	50.7	30.6	70.3	434.8	362.8
1600	30.9	30.0	40.5	43.8	32.7	48.1	39.6	55.2	45.1	60.3	37.3	77.3	540.7	337.9
2000	37.1	38.2	47.4	53.1	42.8	56.7	46.4	64.9	52.1	67.8	42.9	82.5	631.9	315.9
2400	43.0	45.2	53.8	61.3	49.3	63.4	53.3	74.2	58.2	74.3	47.6	86.5	710.0	295.8
2800	47.5	50.6	59.6	68.4	54.6	69.3	59.9	82.6	63.3	79.4	51.5	89.5	776.2	277.2

^{*1} Number of recruits of stone flounder ($\times 10^3$).

^{*2} Ratio of monthly catch to annual catch.

^{*3} Total catch per number of recruits ($\times 10^6$ yen).

$$\begin{aligned} & \cdot e_0(k) - F_{Ti}(a, k) - M_i \cdot \prod_{k=1}^{t-1} \exp \{-q_0(a, k) \\ & \cdot e_0(k) - F_{Ti}(a, k) - M_i\} \end{aligned} \quad (8)$$

$$P(t) = P(t, 0) \cdot \exp \left[\alpha \cdot \sum_{i=1}^2 \sum_{a=1}^{a_{\max}} \{C_{Gi}(a, t) + C_{Ti}(a, t)\} \right] \quad (9)$$

である。

相馬原釜漁協のイシガレイ水揚量は調査地域（相馬・双葉地区）の 68% に当たる（1989 年現在）。また、相馬原釜魚市場が先に述べたように価格決定の役割をはたしているならば、この理由で市場規模は違うが他の市場でも水揚量と単位価格の間に同様の関係があると考えられる。 α (Fig. 2, 参照) に相馬原釜魚市場の相馬・双葉地区における占有率 (0.68) をかけて補正して、(9) 式を当地域全体の水揚量一価格関係式とした。

シミュレーションの方法 制御変数 $e_0(t)$ (浸漬日数 $\times$ 延べ使用反数) を 1985 年で月別に見ると、7 月に最大値 $98 \cdot 10^4$ 反 $\times$ 日、4 月に最小値 $14.6 \cdot 10^4$ 反 $\times$ 日となる。このことから、制御変数の拘束条件

$$E = \{e_0(t); 1 \leq t \leq 12\} | 0 \leq e_0(t) \leq e_{0\max}; 1 \leq t \leq 12\} \quad (10)$$

の最大値 $e_{0\max}$ を $e_{0\max} = 98 \cdot 10^4$ とする。拘束条件 (10) 式の下で (6) 式を満足する各月に対する最適な $e_0(t)$ の値を探索する。

底曳網漁業の雌雄別年齢別月別の漁獲係数 $F_{Ti}(a, t)$ (Table 3 参照), は 1985 年の値をそのまま用いることとする。

1 歳での加入尾数 (R_1) (1975~1985 年) について、福島水試では VPA 法等を用いて推定しているが、*1 それによると雌雄それぞれ 30~150 万尾である。そこで、雌雄の比率が 1:1 として、40, 80, 120, 160, 200, 240, 280 万尾の加入水準を仮定して、刺網漁業が漁獲対象としている 1 歳から 5 歳のイシガレイの同漁業による漁獲金額を最大化するための方策をそれぞれの加入水準について計算することとした。

目的関数 (7) 式は水揚量によって価格が変化するためこの方程式を解析的に解くことは難しい。そこで、シミュレーション法 (Multi-Stage Monte Carlo Optimization method^{*)}) によって (7) 式を求めることとする。

結 果

最適操業率 刺網の漁獲努力量を

$$\varepsilon(t) = \frac{e_0(t)}{e_{0\max}} \quad (11)$$

のように相対化し、これを t 月の操業率 (operating

rate) と呼ぶこととする。各加入尾数に対する漁獲努力量の最適操業率を求めると、Table 5 (a) のようになる。加入尾数がどの場合も 3, 7, 8, 9, 10, 11 月では最適操業率は $\varepsilon(t) = 1.00$ で、これは、フル操業を意味し、この月の潜在価格 $P(t, 0)$ (Table 2 参照) が高いことに起因していると考えられる。12 月も同様に潜在価格が高い月ではあるが、加入尾数が増えるにしたがって、最適操業率は低下する。これは、同月がイシガレイの産卵期で刺網の漁具能率 q_0 が他の月に比べて著しく高いためであると考えられる。つまり、加入尾数が多い場合、漁獲量が増大して、価格の低下をもたらすためである。それとは対照的に 1, 2, 4, 5, 6 月では加入尾数の水準が減少するにしたがって最適操業率 $\varepsilon(t)$ の値も低下する。これは、加入尾数が少ない場合、これらの月の潜在価格 $P(t, 0)$ が低いために、まず、これらの月の漁獲量を減らして、他の潜在価格の高い月でより多く漁獲するようにしていると考えられる。特に、5 月では 1 歳魚での漁具能率 q_0 が高いため、加入尾数が少ない場合には、資源の浪費を防ぐような効果が強くはたらくと考えられる。

最適漁獲量・漁獲金額 各加入尾数に対する最適漁獲方策で操業した場合の総漁獲量をみると (Table 5 (b) 参照), 加入 1 尾当りの総漁獲量はほぼ一定値であることがわかる。しかし、月別にみると、1, 2, 4, 5 月では、加入尾数が増えるほど年間に占める月別漁獲量の割合は増加し、逆に、12 月ではその割合が減少している。これは、各加入尾数において、年間漁獲量を最大化した上で、それをより高い価格で販売するために各月の漁獲量を調整しているためと考えられる。

また、最適漁獲方策で操業した場合の総漁獲金額は (Table 5 (c) 参照), 加入尾数が増加するほど、加入 1 尾に対する総漁獲金額は逓減しており、これは価格が漁獲量の増加と共に低下することの影響と考えられる。

考 察

親魚資源尾数 イシガレイの産卵盛期は 12 月上旬から下旬で、*2 雌雄共に 1 歳末から産卵に参加する。^{*)} そのことから 12 月の漁期末の 1~5 歳の雌の残存資源尾数を雌の親魚資源尾数として、雌の各加入水準に対して最適漁獲方策を行った場合の雌の親魚資源尾数を算出すると Table 6 のようになる。雌の加入 1 尾あたり雌の親魚資源尾数は $R_1 = 2 \cdot 10^5$ の時 0.667, $R_1 = 14 \cdot 10^5$ の時 0.646 で、このことから、1 尾の雌の親魚が年間に約 1.5 尾の 1 歳魚の雌を再生産すれば、現状の資源水準を維持することができると言える。

*1 福島県水産試験場編：昭和 63 年度漁業高度管理適正化方式開発調査事業報告書，福島県沿岸海域，福島県，いわき，1989。

*2 福島県水産試験場編：昭和 47 年度太平洋北区栽培漁業漁場資源生態調査報告書，福島県，いわき，1973。

Table 6. Number of survival female of stone flounder at the spawning season (December), estimated under the optimal fishing control

R_1^{*1}	Age						$/R_1^{*2}$ (%)
	1	2	3	4	5	Total	
200	109.6	17.4	4.5	1.4	0.5	133.4	66.7
400	218.2	32.1	7.5	2.0	0.7	260.5	65.1
600	329.2	47.1	10.5	2.6	0.9	390.2	65.0
800	439.3	61.3	13.2	3.2	1.0	517.9	64.7
1000	549.2	74.9	15.6	3.6	1.2	644.5	64.5
1200	660.4	89.6	18.4	4.2	1.3	773.9	64.5
1400	771.9	104.8	21.4	4.8	1.5	904.3	64.6

*1 Assumed number of recruits of female of stone flounder.

*2 Ratio of number of survival female fish to number of recruits.

月別固定価格の場合との比較 過去 12 年間のデータからその平均価格 $P(i, \cdot)$ を求め (Table 2), これを月別固定価格として, 年間漁獲金額を最大化を目的関数として, その場合の最適漁獲方を求めると Table 7 のようになる。ただし, モデルの構造から各月の最適な操業率 (e) は加入量に独立に決まる。この場合, 最適な漁獲方は間欠的で, 月別固定価格の比較的低い, 1, 4, 5, 6, 11 月では休漁となり, 逆に 2, 3, 7, 8, 9, 10 月では, フル操業となる。これはいささか漁業者にとって, 実行性の乏しい方策と言える。

加入尾数を $R=16 \cdot 10^5$ として, 両モデルで求めた最適漁獲努力量によって得られる漁獲量を比べると, 年間総漁獲量ではほとんど違いはない。しかし, 各月について比較すると, 月別固定価格のモデルでは 2 月, 12 月の合計で年間の半分以上の漁獲があり, かなり月ごとに偏りのある方策であることがわかる。

またこの漁獲方策が価格が水揚量に依存する (つまり, 水揚量—価格関係式が存在する) にもかかわらず, 用いられたと仮定する。その場合の漁獲金額を水揚量—価格関係式により推定すると (Table 7 参照), 月別固定価格での漁獲方策と最適漁獲方策 (水揚量—価格関係式を用いた漁獲方策) とでは, 年間総漁獲量には違いがない。しかし, 年間総漁獲金額では, 月別固定価格の漁獲方策を用いた場合は最適漁獲方策に比べて, 20% 程度減収となると推定される。このように減収となったのは, 漁獲量ゼロの月がある一方, 漁獲が 2, 12 月に集中したために, これら月において, 価格が過去の平均価格 (固定価格) より低下したためと考えられる。

実際の年間操業との比較 漁獲量に依存する価格関数を用いて加入量を 16×10^5 尾とした場合に漁獲金額を最大化する方策で操業した時の年間の操業パターンと実際行われている年間操業パターンとを比較した (Table 7 参照)。これによると 3, 4 月のように実際の操業比率の

Table 7. A comparison of operating rate, catch amount in kg and catch amount in yen among optimality under the two conditions and actual data

Condition	Unit	Month												Total
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
Independent*1 $R=16 \cdot 10^5$	$e(t)^{*3}$	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.70	—
	C_G^{*4}	0	86.1	19.8	0	0	0	22.9	26.5	23.6	37.3	0	63.0	279.1
	V^{*5}	0.0	76.0	40.7	0.0	0.0	0.0	52.6	66.8	50.0	70.5	0.0	89.5	446.0
Dependent*2 $R=16 \cdot 10^5$	$e(t)$	0.45	0.26	1.00	0.75	0.86	0.96	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.63	—
	C_G	23.5	18.4	19.6	23.3	17.8	27.0	16.2	20.8	19.9	28.5	21.8	45.3	282.2
	V	30.9	30.0	40.5	43.8	32.7	48.1	39.6	55.2	45.1	60.3	37.3	77.3	540.7
Actual value in 1985	$e(t)$	0.56	0.17	0.27	0.15	0.42	0.56	1.00	0.76	0.34	0.48	0.40	0.95	—
	C_G	46.9	19.5	7.5	6.2	12.4	24.6	24.5	22.8	13.8	24.7	20.0	111.7	334.6

*1 The optimal values in case of monthly price independent of catch and recruitment level. $R=16 \cdot 10^5$.

*2 The optimal values in case of monthly price dependent on catch and recruitment level. $R=10 \cdot 10^5$.

*3 Monthly optimal operating rate ($E_G(t)/E_{Gmax}$).

*4 Monthly optimal catch amount by gill net in kg.

*5 Monthly optimal catch amount by gill net in yen.

低い月では、最適漁獲方策での操業比率は高い値を示している。これは、3、4月が収益性の高いイカナゴ漁業の盛んな時期であるためと考えられる。また、12月のように実際の操業比率が高くても漁獲量も多い月では最適漁獲方策での操業比率は反対に低い値を示している。これは、実際の漁業が、たくさん捕れる（つまり、漁具能率が高い）から漁獲すると言う観点からしばしば操業されがちであるのに対して、最適方策では過剰漁獲による価格下落を防ぐと言う観点から方策が選択されていることを示している。

今後の課題 本研究では価格が水揚量に依存すると仮定して最適漁獲方策を求め、そのモデルの特性を分析した。漁業が市場経済に従属している以上、その管理を考える場合には、価格が水揚量（供給量）との関係を無視することはできない。また、価格が水揚量に依存すると仮定すると、年間の水揚量を標準化する作用があり、これは、漁獲方策をより現実的にして実行性を高める効果があることがわかった。この効果は多魚種、多漁法にモデルを複雑にする場合や一定加入モデルのほかの場合でも期待できると予想される。

しかし、当地域の刺網漁業において、イシガレイの漁獲は全体の38%であることから、混獲される他魚種を抜きにしては漁業が成り立たない。また、固定式刺網でも漁場選択によって、マガレイやヒラメを主体に漁獲する場合もある。さらに、当地域の小型船によっては、カイマキ漁業、たこ籠、延縄、イカナゴ漁などの他の漁業と兼業している場合もあり、漁獲金額を比較した上で、漁法選択を行なっていると考えられる。今後、より現実的モデルを考察する際には、他水産物の価格変動や資源動向を考慮した上で、刺網の目合の選択や、それぞれの漁業への努力量配分などより多くの制御変数や拘束条件を取り込まなければならない。これについては今後の課題としたい。

本研究で求めた各月の水揚量—価格関係式は、潜在価格が変わっても、価格の相対的变化率は変わらない（つまり、 α ：一定）と仮定した。この仮定により、推定す

る係数のかなりの節約となったが、そのために、一部の月で当てはまりを悪くしている。

また、シミュレーションの一部ではこのようにして導いた価格関数を外挿的に用いている。しかし、これらを改善するためには、かなり長い年月のデータの蓄積を必要とする。これについても今後の課題としたい。

イシガレイの生産地価格の決定要因として、一般に消費地市場の価格や入荷量も影響を与えていると考えられる。本研究は漁業管理の側面から価格関数として各月の水揚量—価格関係式を求めたが、同魚種の価格形成過程を分析するためには、代替品として他の異体類の価格や水揚量、および、消費地市場でのイシガレイ価格と入荷量などより多くの変数について分析する必要がある。

謝 辞

本研究をまとめるに当たって、資料を快く提供して頂いた上に、聞き取り調査に協力して頂いた、相馬原釜漁業協同組合の佐藤 弘組合長をはじめとする、職員の皆様に厚く御礼申し上げます。また、御指導頂いた、福島水産試験場並びに松川浦分場の所員の方々に深く感謝申し上げます。また、貴重な助言を賜った、東京水産大学教授、北原 武博士並びに同大学助手、田中栄次博士に深く感謝申し上げます。

文 献

- 1) 菊地 弘, 山田作太郎, 平山信夫: 刺し網の選択性を考慮に入れた福島県北沖のイシガレイの資源管理について, *J. Tokyo Univ. Fish.*, **75**, 443-456 (1988).
- 2) 多屋勝雄: 国際化時代の水産物市場—水産物需要と価格形成—, 北斗書房, 東京, 1991, pp. 1-247.
- 3) 平川英人: 福島県における小型底曳網漁業の漁場に関する研究, 福島水試研究報告, **5**, 43-52 (1978).
- 4) 石塚吉生: 福島県における魚類資源分布に関する研究—I, 刺網に漁獲されたカレイ類の分布, 福島水試研究報告, **5**, 23 (1978).
- 5) W. Conley: Computer optimization techniques., Petrocelli Books, London, 1984, pp. 147-163.
- 6) M. Hatanaka, K. Sekino, and A. Otsuha: Study on the population of the flatfishes in Sendai bay, D Age, growth and spawning of *Kareus bicoloratus* (Basileusky). *Tohoku J. Agr. Res.*, **11**, 25-32 (1952).