道東沖マイワシ漁況のファジィ推論による予測

湯 祖 恪,*¹ 桜本和美,*² 和田時夫,*³北原 武,*² 原田泰志*²

(1992 年 5 月 11 日受付)

Forecasting the Amount of Sardine Catch off the Coast of
Southern Hokkaido using Fuzzy InferenceZuke Tang, Kazumi Sakuramoto, Tokio Wada,
Takeru Kitahara, and Yasushi Harada

The aim of this study is to apply fuzzy rule-based inference to forecasts of the sardine catch off the coast of southern Hokkaido. The data used are the catch for age a , in year t , $C_{a,t}$, by a purse seine fishery off Southern Hokkaido from 1973 to 1989. Population sizes by age and year, $N_{a,t}$, are estimated from the data using a cohort analysis. Four variables, $N_{a-2,t-2}$, $N_{a-1,t-1}$, $C_{a-2,t-2}$, and $C_{a-1,t-1}$, are used as the antecedent, and one variable, $C_{a,t}$, from 1981 to 1989 are inferred according to 75 fuzzy rules. The forecasting was good except for the years 1983 and 1985. The results for 4-year-old were especially good. The results are vital to the values of fishing mortality coefficient for the oldest age-class and the natural mortality coefficient that are needed in the application of cohort analysis. In addition, this study can involve some information on environments. Incorporation of environmental factors in the antecedent may improve the accuracy of forecasts.

資源量や来遊量などを事前に予測することは漁業管理上きわめて重要である。しかし、漁況の予測は、再生産過程や生残過程などの生物学的諸条件や海況条件、さらに経済的な諸条件などが複雑に相互に関連しており、精度よく予測することはきわめてむずかしい。一般的には漁獲データの分析による資源水準、卵・稚仔調査などによる再生産状況、他の漁場での漁況および漁期直前の海洋調査や試験操業の結果等を総合的に判断しながら専門家が永年の独自の経験に基づいて漁況の予測を行なっている。¹⁾ このような方法による漁況予測は、上述のように専門家の永年の経験が不可欠であり、経験の少ない人が漁況予測をすることはむずかしい。このことは研究者の異動等でしばしば問題となる。

ファジィ制御の特長の一つは、『IF~THEN~型』の多数のルールを用いることによって、システムモデルを構築することが困難である複雑なシステムや、観測データが得られにくい、あるいは得られたとしてもその精度

があまりよくないシステム等の制御が可能なことである。

本研究の目的は、ファジィ制御の中心をなすファジィ推論を応用することによって、よりシステマティックな予測方式を作成し、経験の少ない人達でも予測ができるようにすることである。本報では、その第一段階として年齢別漁獲尾数のみから漁況の予測を試み、ファジィ推論による予測の有効性を検討する。例として道東沖に来遊するマイワシ *Sardinops melanostictus* 資源を取り上げる。上記資源を取り上げた理由は、漁期が限られていること、操業規模が一定していること（後述）などから、漁獲努力量の変化などが無視でき、モデルが簡略化されるところと考えられるからである。ただし、本研究では予測の結果を評価するために、年間漁獲量の予測を行なう。

資 料

資料 本研究では、1973 年から 1989 年までに道東沖

*¹ 東京大学工学部都市工学科 (Department of Urban Engineering, Faculty of Engineering, The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113, Japan).

*² 東京水産大学資源管理学科 (Department of Fisheries Resource Management, Tokyo University of Fisheries, Minato, Tokyo 108, Japan).

*³ 北海道水産研究所資源管理部 (Hokkaido National Fisheries Research Institute, Katsurakoi, Kushiro, Hokkaido 085, Japan).

で大型まき網船により漁獲されたマイワシの年齢別漁獲尾数を用いた。この年齢別漁獲尾数は和田²⁾によって推定されたもので、0歳から5+歳(5+歳は5歳以上を表す)に分類されている。道東沖でのマイワシ漁場は尻屋崎と恵山岬の中間点以北、以東、納沙布岬以南、以西の海域に限定されている。釧路港を基地とした大型まき網船による操業は乱獲を防止するため、毎年7月初旬から10月下旬までの4か月間に漁期が限られている。また、1968年以降操業規模も24ヶ続で一定しており、1973年以降は24ヶ続すべてが「1 そうまき網」である。

本海域で漁獲されるマイワシは太平洋系群である。本系群は鹿島灘から九州南部にわたる海域で産卵・越冬する。春から夏になると産卵・越冬回遊から索餌北上回遊に移る。本系群の大半は、夏から秋にかけて道東から南千島の沖合域に広く分布し、大量に漁獲される。北部海域で夏の索餌回遊を終えた魚群は秋から冬に産卵・越冬回遊に移る。本系群の分布域は、資源水準の高低によって拡大・縮小が繰り返される。³⁾

予測の方法

年齢別漁獲尾数の年変動の特徴 ファジィ制御を応用して、すなわち、ファジィ・ルールによる推論結果からマイワシの漁況予報を行なうためには、まず前件部として用いる変数を決定しなければならない。すなわち、どのような要因がマイワシの漁況を決定する主要因であるかを選定しなければならない。ただし、『IF~THEN~型』のファジィ・ルールで『IF~』の部分を前件部、『THEN~』の部分を後件部と呼んでいる。主要因となる変数を決定するために、まず年齢別漁獲尾数を解析し、その年変動の特徴を見いだす。

Fig. 1 に道東沖における1973~1988年の間の年齢別漁獲尾数を年級別に図示した。Fig. 1を見ると、各年齢の漁獲尾数は著しい年変動を示す。しかし、この変動を年級ごとにみると、2, 3の例外(例えば、1974年級、1979年級)は認められるものの、各年齢の漁獲尾数が多いか、少ないかは年級群によって決定される傾向がみられる。すなわち、1才魚の漁獲尾数が多い(少ない)年級群では他の年齢における漁獲尾数も多い(少ない)。このことは、2, 3の例外を除いて、大きい(小さい)年級群では各年齢で道東沖への来遊尾数は大きい(小さい)ことを示唆している。また、マイワシの漁獲尾数が主に来遊量に依存し、その来遊量はその年の資源尾数に大きく依存していることを示すものと考えられる。

そこで、年級豊度の指標を得るためにコホート解析を行ない、来遊尾数を推定する。普通コホート解析では自然死亡係数と最高年齢に対する漁獲死亡係数(ターミナル F)を与えなければならない。まず、自然死亡係数に

Fig. 1. Catches of sardines according to age caught in the waters off eastern Hokkaido, plotted for each year class. Figures a and b show the catches in the 1970's and 1980's, respectively.

Fig. 2. The ratio of catch caught in the waters off eastern Hokkaido to the total catch of the West Pacific sardine stock. The dotted line shows the average of the ratios.

ついて以下に検討する。

コホート解析を適用するためには、閉鎖された資源に対する年齢別の全漁獲尾数が必要である。前述のように、道東沖で漁獲されるマイワシは回遊途中でも本州東岸で漁獲の対象となっている。したがって、道東沖で漁

獲された漁獲物の年齢別漁獲尾数のみから資源尾数を計算する場合、自然死亡係数として道東沖以外での漁獲を組み入れた死亡係数（今後みかけの自然死亡係数と呼ぶ）を用いる必要がある。道東沖以外での漁獲物の年齢組成は不明であるが、便宜的に年齢に対する漁獲の選択性はなかったものと仮定する。東北区水産研究所八戸支所が集計したマイワシ各地主要水揚量より太平洋系群の全漁獲量に対する道東沖の漁獲量の割合を計算し、Fig. 2に示した。全漁獲量に対する道東沖の漁獲量の割合は、平均 0.38, 標準偏差 0.062 で比較的安定していることがわかる。このことから、1973~1989 年の間ではマイワシ太平洋系群の回遊が比較的安定しており、道東沖と他の漁場での漁獲強度はほぼ一定であったと考えられる。

以上のことから、マイワシ太平洋系群のうち、道東沖へ索餌回遊する割合は毎年一定であると仮定し、本系群の来遊尾数の推定を試みた。前述の道東沖マイワシ年齢別漁獲尾数のデータを用いて、同一年級群の 3 才魚と 4 才魚、4 才魚と 5 才魚の漁獲尾数の比から全減少係数を計算した。その結果、1973~1989 年の全減少係数の平均として 0.8 year^{-1} を得た。また、道東沖まで北上する群も、道東沖まで北上しない群と同様に回遊途中の漁場で同じ強さの漁獲強度を受けると仮定する。この仮定と田中⁴⁾の式から推定される自然死亡係数 $M=0.3 \text{ year}^{-1}$ を用いて、ターミナル F とみかけの自然死亡係数をそれぞれ $F=0.19 \text{ year}^{-1}$ と $M'=0.61 \text{ year}^{-1}$ と推定した。

来遊尾数の推定には Pope⁵⁾ の近似式を用いる。使用するデータの最終年を T とすると、 T 年の 4 才以下に対する漁獲死亡係数も与える必要がある。ここでは上記のコホート解析により推定された $T-1$ 年までの年齢別漁獲死亡係数 F_a の過去 n 年の平均（ここでは $n=5$ ） F_a を用いる。ただし、 a は年齢、 t は年を示す。すなわち、

$$F_a = \frac{1}{n} \sum_{t=T-n}^{T-1} F_{a,t}, \quad a=1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

上述の方法で算出した年齢別来遊尾数を Fig. 3 に示す。年齢別来遊尾数の年変動は、道東沖年齢別漁獲尾数とよく似た挙動を示す。すなわち、各年齢の来遊尾数は、著しく変動するが、年級群間の比較をすると、漁獲量において認められたように若齢魚の個体数が多い年級では高齢魚の個体数も多い傾向が認められる。また、Fig. 4 に年齢別来遊尾数に対する漁獲尾数の比（漁獲率）を図示した。年齢別来遊尾数に対する漁獲尾数の比は若干の例外はあるが、どの年級群でも年齢に対しては増加関数であることがわかる。以上のことから、ある年級群のある年齢の来遊尾数は、それより若い年齢群の来遊尾数を用いて予測することが可能であると考えられる。

3 才魚と 4 才魚についてコホート解析によって求めた来遊尾数と漁獲尾数の関係を Fig. 5 に示した。なお、2

Fig. 3. Population sizes in number according to age for each year class, estimated by cohort analysis. Figs. a and b show year classes in the 1970's and 1980's, respectively.

才魚と 5 才魚についてもほぼ同様の図が得られる。Fig. 5 から明らかなように、来遊尾数と漁獲尾数の関係には高い相関関係が認められる。しかし、来遊量水準が同じ程度であっても、漁獲量が多い場合もあれば少ない場合もあり、来遊量水準のみから漁獲尾数の予測を行なうことは適当ではないことがわかる。その理由は、実際の漁獲量は来遊量水準以外にも環境条件や人為的な条件などが複雑に相互に影響しているためであろう。

前件部の変数の決定 以上の解析結果を考慮して、本研究では前件部の変数として年齢別漁獲尾数そのものと、コホート解析により推定された年齢別来遊尾数を用いることとした。すなわち、以下の 4 つの変数を前件部の変数 X_i と Y_i ($i=1, 2$) として採用した。

$$\begin{aligned} X_1 &= N_{a-2,t-2}, \\ X_2 &= N_{a-1,t-1}, \\ Y_1 &= C_{a-2,t-2}, \\ Y_2 &= C_{a-1,t-1}. \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $N_{a,t}$ は t 年次の a 才の来遊尾数、 $C_{a,t}$ は t 年次の a 才の漁獲尾数である。

メンバーシップ関数の設定 前件部としては前述の 4 つの変数を用いる。後件部の変数は予測する年の来遊尾

Fig. 4. Exploitation rates to the population size estimated by cohort analysis for each year class. Figures a and b show the year classes in the 1970's and 1980's, respectively.

数 $N_{a,t}$ と漁獲尾数 $C_{a,t}$ である。前件部、後件部ともファジィ変数の値（ファジィ集合で定義される）は以下の5つとした (Fig. 6)。

VS (very small): 非常に小さい

S (small) : 小さい

M (middle) : 普通

L (large) : 大きい

VL (very large): 非常に大きい

上記5つのファジィ変数値それぞれについてメンバーシップ関数を設定する。また、同じ『非常に大きい』というファジィ変数値に対しても、2才魚の漁獲尾数と3才魚の漁獲尾数とは当然異なったメンバーシップ関数を設定しなければならない。本研究では、それぞれの年齢および、年次ごとに次の手順に従ってメンバーシップ関数を設定した。

(1) それぞれの変数ごとに過去5年間の平均 ($\bar{C}_{a,t}$ と $\bar{N}_{a,t}$) と標準偏差 ($SD_{a,t}$ と $SD'_{a,t}$) を計算する。すなわち、

$$\bar{C}_{a,t} = \frac{1}{5} \sum_{i=t-4}^t C_{a,i}, \quad a=1, 2, \dots, 5+ \quad (3)$$

Fig. 5. Relationship in numbers between observed catch, C , and estimated population size, N . Figures a and b show the relationships for ages 3 and 4, respectively.

Fig. 6. Membership functions for each fuzzy variable.

$$SD_{a,t}^2 = \frac{1}{4} \sum_{i=t-4}^t \{C_{a,i} - \bar{C}_{a,i}\}^2, \quad a=1, 2, \dots, 5+ \quad (4)$$

$$\bar{N}_{a,t} = \frac{1}{5} \sum_{i=t-4}^t N_{a,i}, \quad a=1, 2, \dots, 5+ \quad (5)$$

$$SD'_{a,t} = \frac{1}{4} \sum_{i=t-4}^t (N_{a,i} - \bar{N}_{a,t})^2, \\ a=1, 2, \dots, 5+ \quad (6)$$

ただし、 t は 1981 年から 1989 年までを示す。

(2) メンバシップ関数を設定する。(8) 式に現われる $b_{a,t}$ をファジィ変数値 VS, S, M, L および VL に対してそれぞれ次のように定義する:

$$\begin{aligned} VS \text{ に対して: } & b_{a,t} = C_{a,t} - 2SD_{a,t}, \\ & \text{または, } \bar{N}_{a,t} - 2SD'_{a,t} \\ S \text{ に対して: } & b_{a,t} = C_{a,t} - SD_{a,t}, \\ & \text{または, } \bar{N}_{a,t} - SD'_{a,t} \\ M \text{ に対して: } & b_{a,t} = \bar{C}_{a,t}, \\ & \text{または, } \bar{N}_{a,t} \quad (7) \\ L \text{ に対して: } & b_{a,t} = \bar{C}_{a,t} + SD_{a,t}, \\ & \text{または, } \bar{N}_{a,t} + SD'_{a,t} \\ VL \text{ に対して: } & b_{a,t} = \bar{C}_{a,t} + 2SD_{a,t}, \\ & \text{または, } \bar{N}_{a,t} + 2SD'_{a,t} \end{aligned}$$

ここで、5 年間のデータの平均と標準偏差を用いた理由は、マイワシの主要な漁獲対象年齢が 2 才から 5 才であり、過去 5 年間の資源や漁獲の動向が次の年の漁獲尾数の予測に最も影響すると考えられるからである。したがって、例えば同じ 3 才の漁獲尾数が同じグレードで『非常に大きい』と判断された場合でも、1970 年代と 1980 年代とでは実際の漁獲尾数は異なる。換言すれば、同じ漁獲尾数であっても、その年代ごとに判断基準が変わっている。

ファジィ変数値 VS, S, M, L および VL のそれぞれに対するメンバシップ関数 A の関数型としては釣り鐘型や三角形がよく用いられる。ここでは後者を用いることにする。すなわち、変数 $Z_{a,t}$ が (2) の変数 $X_i, Y_i (i=1, 2)$ を示すものとする、変数 $Z_{a,t}$ がファジィ集合 VS (または、 S, M, L もしくは、 VL) に所属するグレードは次式で与えられる。

$$A_{Z,a,t} = \frac{1}{d_{a,t}} (-|Z_{a,t} - b_{a,t}| + d_{a,t}) \\ A_{Z,a,t} > 0, \quad d_{a,t} > 0 \\ \text{or} \quad (8)$$

$$A_{Z,a,t} = 0 \quad A_{Z,a,t} \leq 0, \quad d_{a,t} > 0$$

式 (8) からわかるように、 $b_{a,t}$ は $A_{Z,a,t} = 1$ (メンバシップ関数のグレードが 1) に対する $Z_{a,t}$ の値になる。また、 $d_{a,t}$ は (4) または (6) 式で計算された $SD_{a,t}$ 、または、 $SD'_{a,t}$ とした。

ファジィ・ルールの作成 2 才魚以上の漁獲量を予測する場合には前件部となる変数は $C_{a-2,t-2}, C_{a-1,t-1}, N_{a-2,t-2}, N_{a-1,t-1}$ の 4 つである。実際の推論では推論部を 3 つのステップに分けた。すなわち、前件部が 2 つの推論部を 2 つ作成し、各々の推論結果を前件部として最

Table 1. Three sets of fuzzy rules for forecasting the amount of catch of sardines caught in the waters off eastern Hokkaido

Rule	$C_{a-2,t-2}$	$C_{a-1,t-1}$	$C_{a,t}$
1	VS	VS	S
2	VS	S	M
3	VS	M	S
4	VS	L	S
5	VS	VL	L
6	S	VS	M
7	S	S	M
8	S	M	S
9	S	L	VL
10	S	VL	L
11	M	VS	S
12	M	S	M
13	M	M	L
14	M	L	M
15	M	VL	VL
16	L	VS	M
17	L	S	L
18	L	M	M
19	L	L	L
20	L	VL	L
21	VL	VS	L
22	VL	S	M
23	VL	M	S
24	VL	L	M
25	VL	VL	VL

A: Rules for inferring $C_{a,t}$ from the values of $C_{a-1,t-1}$ and $C_{a-2,t-2}$.

終的な推論を行なうという形式をとった。第 1 の推論部では $N_{a-2,t-2}, N_{a-1,t-1}$ を前件部とし、 $N_{a,t}$ をマクスミニ合成重心法により推論する。同様に、第 2 の推論部では $C_{a-2,t-2}, C_{a-1,t-1}$ を前件部とし、 $C_{a,t}$ を推論する。上記 2 つの推論結果 $N_{a-1,t-1}, C_{a-1,t-1}$ を用いて最終的な $C_{a,t}$ を推論する。前述の解析結果から予想される、また、試行錯誤法から得られた各々の推論部のファジィ・ルールを Table 1 に示す。Table 1A の例について説明する。ルール 1 では、『2 年前 ($t-2$ 年) の $a-2$ 才の漁獲尾数が非常に小さく、しかも 1 年前 ($t-1$ 年) の $a-1$ 才の漁獲尾数が非常に小さいならば、今年 (t 年) の a 才の漁獲尾数も小さい』と推論する。同表のルール 5 では、『2 年前 ($t-2$ 年) の $a-2$ 才の漁獲尾数は非常に小さいけれども、1 年前 ($t-1$ 年) の $a-1$ 才の漁獲尾数が非常に大きいので、前件部第 2 番目の変数に重みを置いて (年齢と漁獲率の関係、Fig. 4 を参照)、今年 (t 年) の a 才の漁獲尾数は大きい』と推論する。このようにデータの解析結果や過去の経験・知見などを参考にしながら、推論結果が観測されたデータによりよく合うようにルールを修正する。

Table 1. (Continued)

Rule	$N_{a-2,t-2}$	$N_{a-1,t-1}$	$N_{a,t}$
1	VS	VS	S
2	VS	S	M
3	VS	M	S
4	VS	L	M
5	VS	VL	M
6	S	VS	S
7	S	S	M
8	S	M	L
9	S	L	VL
10	S	VL	L
11	M	VS	S
12	M	S	L
13	M	M	L
14	M	L	M
15	M	VL	VL
16	L	VS	M
17	L	S	M
18	L	M	M
19	L	L	L
20	L	VL	L
21	VL	VS	S
22	VL	S	L
23	VL	M	S
24	VL	L	M
25	VL	VL	M

B: Rules for inferring $N_{a,t}$ from the values of $N_{a-2,t-2}$ and $N_{a-1,t-1}$.

Table 1. (Continued)

Rule	$N_{a-1,t-1}$	$C_{a-1,t-1}$	$C_{a,t}$
1	VS	VS	S
2	VS	S	S
3	VS	M	S
4	VS	L	M
5	VS	VL	L
6	S	VS	S
7	S	S	M
8	S	M	S
9	S	L	VL
10	S	VL	VL
11	M	VS	S
12	M	S	M
13	M	M	L
14	M	L	L
15	M	VL	VL
16	L	VS	S
17	L	S	M
18	L	M	M
19	L	L	L
20	L	VL	VL
21	VL	VS	L
22	VL	S	M
23	VL	M	M
24	VL	L	L
25	VL	VL	L

C: Rules for inferring $C_{a,t}$ from the values of $C_{a-1,t-1}$ and $N_{a-1,t-1}$ that are inferred by rules A and B, respectively.

Table 2. Catches in number by age observed and forecast ($\times 10^8$)

Year/Age	Observed					Forecast				
	2	3	4	5+	Total	2	3	4	5+	Total
1981	2.19	19.82	11.03	1.95	34.99	4.22	25.14	10.72	8.90	48.98
1982	74.83	7.91	13.73	3.64	100.11	88.05	4.19	14.43	8.68	115.35
1983	55.01	85.37	4.13	4.62	149.13	45.81	44.49	1.47	7.73	99.50
1984	14.17	65.76	26.02	7.02	112.97	34.26	64.50	22.00	2.43	123.19
1985	31.48	33.78	37.84	10.63	113.73	65.82	47.30	30.40	14.41	157.93
1986	4.59	27.19	27.18	37.62	96.58	5.12	92.35	24.65	14.92	137.04
1987	42.25	33.88	33.33	17.69	127.15	45.21	36.42	38.71	19.17	139.51
1988	21.14	47.30	34.60	26.38	129.42	24.54	84.41	35.05	22.00	166.00
1989	10.08	51.86	24.65	7.19	93.78	0.83	48.85	23.39	19.62	92.69

結 果

ファジィ推論結果 ファジィ推論結果と実際の漁獲尾数を Table 2 と Fig. 7 に示した。すなわち、1980 年までの年齢別漁獲尾数を用いてコホート解析を行なう。コホート解析により得られた 1980 年までの年齢別来遊尾数と 1980 年までの年齢別漁獲尾数を用い、1981 年の年齢別漁獲尾数を予報する。同様に、1981 年までの年齢

別漁獲尾数と、コホート解析により得られた 1981 年までの年齢別来遊尾数の推定値を用い、1982 年の年齢別漁獲尾数を予報する。以下同じことを 1989 年まで繰り返す。

2 才魚では、1984 年と 1985 年でやや過大に推定されているが、他の年では比較的よく合っている。3 才魚では 1983 年、1986 年および 1988 年で大きく予測がはざれている。しかし、他の年ではかなりよく合っている。

Fig. 7. Observed (solid line) and forecast (dotted line) catches by age. Figures a, b, c, d, and e are the results for ages 2, 3, 4, 5, and the total catch, respectively.

4 才魚では全体的に予測結果のあてはまりがよく、大きくはずれている年はない。このことは重量で見た場合に 4 才魚が漁獲量の主群であることによるものと考えられる。5 才魚では 1986 年の予測が大きくはずれている。総漁獲尾数でみると 1983 年が過小予測、1985 年、1986 年、1988 年が過大予測となっているものの、全体的には比較的よく合っている。

現行の方式による予測結果との比較 北海道区水産研究所による現行の方式¹⁾による予測結果と本研究との結果を比較する。ただし、本研究では尾数で予報が行なわれているので重量に換算した。重量への換算には 1978 年から 1989 年までの間に道東沖で漁期中 (7 月～10 月) に漁獲されたマイワシの年別年齢別平均体重 (和田、未発表) を用いた。また、本研究では 1 才魚の漁獲尾数の予測を行っていないので、次の方法により補正した。すなわち、 t 年の予報を行なう場合、 $t-5 \sim t-1$ 年までの過去 5 年間 (1982 年については過去 4 年間) の 1 才魚の漁獲重量の実測値の平均を t 年の 1 才魚の予報値とした。結果を Table 3 に示す。Table 3 をみると、1983 年は 25% の過小予報、1985 年は 20% の過大予報となり、予報結果はあまりよくない。しかし、その他の年については比較的よく予報されていると考えられる。現行の予報方式と比べると、ややよい結果となっている。本研究が年齢別漁獲データしか用いていないことを考慮する

Table 3. Comparison of the total catch forecast by an alternative method and by the fuzzy approach

Year	Actual C_t	Alternative method $\hat{C}_{1,t}$	Total catch ($\times 10^4$ t)		Difference $C_t - \hat{C}_{2,t}$	Difference (%) $(C_t - \hat{C}_{2,t})/C_t$
			Fuzzy approach $\hat{C}_{2,t}$			
1982	80.5	60.0	88.5		8.0	9.9
1983	100.8	80.5	75.5		-25.3	-25.1
1984	116.0	Same level as previous year or more	108.4		- 8.1	- 7.0
1985	106.3	Same level as previous year or more	127.0		20.7	19.5
1986	109.4	Around one million tons	123.2		13.8	12.6
1987	120.7	Around one million tons	122.2		1.5	1.2

と、ファジィ推論を漁況の予報に応用することは有効であると考えられる。

考 察

既に述べたように、漁獲量は来遊資源量のみで決定される訳ではなく、多くの要因が複雑に関連している。従来の漁況予報の方法では、まず、漁獲量に関連する要因をいくつか見つけ出し、それぞれについて線形回帰式を求める。次に、その線形回帰式から漁獲量を予測し、専門家が結果を総合的に判断して最終的な予測値を算出するという方法がとられている。¹⁾ しかし、この方法ではどの予測結果にどの程度の重み付けを行なって最終結果を導くかは専門家の判断に任されている。重回帰分析による予測方法も試みられているが、¹⁾ 上記の問題が解決されたわけではない。ファジィ推論はもともと多くのファジィ・ルールを用いて推論する構成になっているため、上記のような問題をうまく解決することができる。このことはマイワシの漁獲量予測に限らず、他の魚種についても同様に有効である。桜本ら⁴⁾ は秋田県において漁獲されたハタハタ *Arctoscopus japonicus* についてもファジィ推論を応用した解析を試みている。ただし、年齢別漁獲データを用いず、また、水温情報を用いている点が本研究で示したマイワシの例とは異なっている。また、桜本⁵⁾ はファジィ制御を鮭類資源の管理に応用した場合について、シミュレーションによる検討を行なっている。このように、ファジィ制御・ファジィ推論は柔軟性に富んでおり、漁獲量予測ばかりではなく、水産資源の管理などにも広く応用できると考えられる。

ファジィ推論を応用した今回の予測方式の問題点はファジィ・ルールをどのようにして決定するかである。こ

のことはファジィ推論一般についても言えることであるが、ここで示したファジィ・ルールが最適であるという保証はない。現状では過去の経験・知見をもとに、試行錯誤によってよりよいルールを決めていくという方法によっている。最適化手法等の導入が計られれば、より客観的でシステムチックなアプローチが可能となろう。

本研究では年級豊度の指標とするためにコホート解析を行ない、推定された来遊尾数を前件部の変数として使用した。一般に、コホート解析では既知として与える自然死亡係数やターミナル F の値によって推定結果が異なり、しばしば問題にされる。しかし、推定値の相対値は与えた自然死亡係数やターミナル F の値に対してそれほど変化しない。ここで示したファジィ推論の方式では、結果的にはコホート解析により推定された来遊尾数の相対値のみが情報として用いられている。したがって、予報結果はコホート解析を行なうときに設定した自然死亡係数やターミナル F の値に対して頑健である。

本研究では漁獲尾数を予測することを第一の目的としたため、来遊資源尾数の予測についてはほとんどふれなかった。来遊資源尾数の予測についても、同様な方法の適用が考えられる。しかし、おおよその来遊資源水準についての情報がないと相対値による予測しかできないので、コホート解析等により過去の漁獲データなどを解析して、おおよその来遊資源水準を見積もっておく必要がある。より現実的な漁況の予報を行なうためには来遊資源尾数の予報も行なう必要があるだろう。

本研究では環境条件を全く考慮しなかった。3才魚と5才魚に対する予報結果をみると、共に1986年で予報が大きいくはれた。このことはなんらかの共通した要因(環境条件などの)が働いているのかもしれない。いか

⁴⁾ K. Sakuramoto, T. Kitahara, and Y. Harada: Forecasting the amount of sandfish catch in the coastal waters off Akita prefecture using Fuzzy inference.

にうまく環境条件をルールとして取り込むかは今後の重要な検討課題である。

前節からわかるように、予測が年別年齢別漁獲量のみから行なわれたことを考慮するならば、予測結果は観察値とよく一致したと考えられる。したがって、漁期直前の隣接した漁場、あるいは、回遊途中での漁況等の情報を利用すればさらに予測の精度は向上するであろう。また、過去の予測の当てはまり具合を見ながら将来の予測値を修正していくプロセス（ルール）を付け加えることもそれほど困難ではない。今後の検討課題としたい。

謝 辞

本研究を行なうにあたり、北海道水産研究所、柏井誠博士、田村 守博士、西海区水産研究所、原 一郎博士にいろいろご指導を頂いた。ここにお礼申し上げる。

文 献

- 1) 和田時夫：道東海域のマイワシ、現行漁況・海況予測手法の整理と改善点、昭和 63 年度長期予測高度化技術開発試験報告書、別冊 (1)、(社)漁業情報サービスセンター、1-8 (1990)。
- 2) 和田時夫：道東海域におけるまき網対象マイワシ資源の来遊動態に関する研究、北水研報、52, 1-138 (1988)。
- 3) 黒田一紀：マイワシの初期生活期を中心とする再生産過程に関する研究、中央水研報、3, 25-278 (1991)。
- 4) 田中昌一：水産生物の Population dynamics と漁業資源管理、東海区水研報、28, 1-200 (1960)。
- 5) J. G. Pope: An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Rep. Bull. int. Commn NW Atlant. Fish.*, 9, 65-74 (1972)。
- 6) 桜本和美：ファジィ制御による鯨類資源の管理、水産資源管理談話会報、4, 3-17 (1991)。