

# カタクチイワシ漁況予測のための知識工学的モデリング

青木 一郎\*・三谷 勇\*\*

## A Rule-Based Model for the Prediction of Fishing Condition of Anchovy

Ichiro AOKI\* and Isamu MITANI\*\*

### Abstract

This paper describes a rule-based model for predicting anchovy catch during JAN-FEB and SEP-OCT periods off the coast of Kanagawa Prefecture, central Japan. The model is based on the methodology of knowledge engineering which aims to turn expertise into practical use. The purpose of the model is to coordinate the specialist's accumulated empirical knowledge expressed in a qualitative rather than quantitative manner in order to make the best use of it in fishery forecasting.

The available knowledge is represented by IF-THEN rules nearly in the form of natural language. Using these rules, stock abundance is inferred from egg abundance, catch of larvae and catch in the adjacent sea. Environmental conditions for fish appearance is inferred from the Kuroshio path and water temperature, and ultimately, the expected catch is deduced further by taking into account the catch in the preceding period. Simulations of anchovy catch using actual data in the past have shown that the rule-based qualitative model is beneficial.

The rule-based model has the advantages of flexibility and improvability because it is designed to be revised or updated. This approach is a useful tool for a fisheries forecasting system.

### 1. 緒言

今日、コンピュータ技術や情報通信技術の進歩に支えられ、漁海況情報はその内容の充実、伝達の迅速化が進みつつある。しかし、漁況、海況の現状把握という側面に比べると、その動向の予測についてはまだまだ改善の余地が多いといえよう。最近ではこのような現状に対し最新の情報処理技術によって予測技術の高度化をはかることが検討されている（漁業情報サービスセンター、1989）

諸機関による従来の資源調査や漁海況調査により多くの情報・知識が得られてきているが、ボトムアップの

に生物生産の素過程から魚類生産を数学モデルで定式化できるほど理解されていないし、またそれは正統的であるかもしれないがきわめて遠い道である。そして、現実には漁業の要請からこのような不確実な状況の下での予報が求められる。今までの漁海況調査・研究等で得られた知識として、たとえば、「黒潮が接岸すると好漁だ」といった具合に、断片的であったり、あいまい性を含むが、定性的には記述される多くの経験的知識があるともいえよう。我々の知識を増やすことはいうまでもないが、このような知識を有効に漁況予報に利用できるように体系化することも重要である。

知識工学では、データベースに類似して、知識を知識ベースの形で蓄え利用して問題解決を実現する方法を提供する。そして、それは記述的、経験的、定性的である知識を扱うことができるという特徴を持つ。

本研究の目的は、以上の背景のもとに知識工学的アプローチによる漁況予測の手法を検討することである。す

1990年9月13日受理

\* 東京大学海洋研究所 Ocean Research Institute, University of Tokyo, Nakano, Tokyo 164, Japan.

\*\* 神奈川県水産試験場 Kanagawa Prefectural Fisheries Experimental Station, Miura, Kanagawa 238-02, Japan.

でに相模湾のカタクチイワシについてエキスパートシステムとしてそのプロトタイプを記した(青木ほか, 1988)。ここでは、漁期の中でもすでに漁況予報の根拠について検討がなされている1~2月期(三谷, 1988)と9~10月期(三谷, 1989)を対象に予測のためのルール型モデルの改良を行ない性能の向上をみたので報告する。

## 2. 方 法

神奈川県のカタクチイワシ漁況予測のための知識工学的手法の概要については既報(青木ほか, 1989)に記されており、ここでは所定のルール形式で知識ベースに書かれている改良したルール型モデルの内容について記す。

このモデリングにおける変数の選択とルール表現は神奈川県水産試験場発行の漁況予報「いわし」(1号~31号)の中の記述と、すでにあげた文献(三谷, 1988; 1989), および過去のデータの相関分析に基づく。用いた資料は、1978~1987年についての、同水産試験場による相模湾産卵調査や漁獲集計で収集されたデータ、「漁海況情報」、東海区水産研究所(現、中央水産研究所)による「長期漁海況予報」、千葉県水産試験場による「重要魚族資源調査200海里水域内漁業資源調査 魚体測定結果資料集」、静岡県水産試験場発行の「漁海況予報事業報告書」である。なお、カタクチイワシの漁獲量としては、神奈川県三浦半島西岸の佐島地区のイワシ中型まき網3カ統の漁獲資料を用い、同時にその漁獲量を予測の具体的対象とした。佐島地区の漁獲量は同県の全漁獲量と高い正相関が認められている(三谷, 1978)。モデルは2つの漁期について別々に考えた。

### 2.1 1~2月期

#### (1) 入力変数

1~2月漁期の漁獲対象となるカタクチイワシは、前年の7~8月に発生し、9~10月にシラスを経て成長したものと推定されるので、まず、前年の7~8月の産卵量(EG)と、同9~10月のシラス漁獲量(LV)を考えた。前者は相模湾の産卵調査データにより、後者は小坪、茅ヶ崎、平塚漁協のシラス漁獲量で代表させた(変数とその略号は後述のTable 2, Fig. 1を参照)。

また、相模湾と隣接する房総海域からの魚群の来遊も考えられるので、11~12月期の房総沖漁場の漁獲量(CB)を考えた。これは銚子から鴨川までの主要6漁港の水揚げ量で代表させた。さらに、前漁期である11~12月期の当佐島地区の実績漁獲量(CP)を考慮にいった。

次に、魚群の漁場への来遊に関係する環境要因として、大島の定地水温(11~12月期: WTP, 当該漁期: EWT),

黒潮流路(11~12月期: KPP, 当該漁期: EKP), 相模湾への暖水の流入(11~12月期: WIP, 当該漁期: PWI)を選定した。これらには、前期(2ヵ月前)の11~12月期と当該漁期の2期を考えた。ここで、前者は実データとして与えられるが、後者は予測値を入力することとした。

以上の変数に対して次のように定性的な値を定義した。各種漁獲量や産卵量のようにもともと数値データでえられる変数については1978~1987年の10年間の平均値( $m$ )と標準偏値( $s$ )をもとめ、 $m - 0.5s$ より小さい場合を「小」、 $m + 0.5s$ より大きい場合を「大」、その間にある場合を「並」とする。水温は、旬別平均水温の平年値(過去29年間)からの偏差のデータに基づき、その値が、漁期前と漁期のそれぞれ2ヵ月6旬のうち $+1^{\circ}\text{C}$ 以上あるいは $-1^{\circ}\text{C}$ 以下が3旬以上ある時をそれぞれ「高め」、「低め」、その間を「並」と定義する。黒潮流路はA型、B型、C型、その他の型の4種で表わし、約半月毎の黒潮流路のタイプ分けをもとに2ヵ月間で最も頻度の高い型を入力値とする。暖水の流入については、多少主観的になるが、2ヵ月間の大島定地水温と黒潮流路の動向から判断して「あり」、「なし」の2つの値のどちらかを入力値とする。

#### (2) ルールと推論

データから予測漁獲量を推論するための知識はルールの集まりとして表わされる。このルールはすべて「もし(IF)~ならば(THEN)~である」の一定の形をとり、人間とコンピュータがともに容易に理解できるように設計されている。ルールの例をTable 1に示す。そして、ルールに基づく推論のネットワークをFig. 1に示す。入力変数と最終結論の間には、予想資源量、予想来遊環境、前期来遊環境の中間変数を設定し、まず、データから中間変数の値を判断し、次に中間変数から最終結論を与えるように問題を階層化して考えた。中間変数と最終結論の値も3段階の定性的な値で表現される。

図中(Fig. 1)の変数を結ぶ線が1組のルールセットを表わし、+の記号は正の相関関係を示す。正の相関関係は「~が大きければ~は大きい」、「~が並ならば~は並」、「~が小さければ~は小さい」のように定性的表現でルールに記述される。これが1組のルールセットである。条件部と結論部の変数の結びつきの関係にはAND関係とCOMB関係がある。AND関係は条件部に2つ以上の変数を同時に考える場合で、COMB関係は複数の変数が並列的に1つの変数を結論としている場合である。ルールが成り立つ確からしさを確信度(Certainty factor,

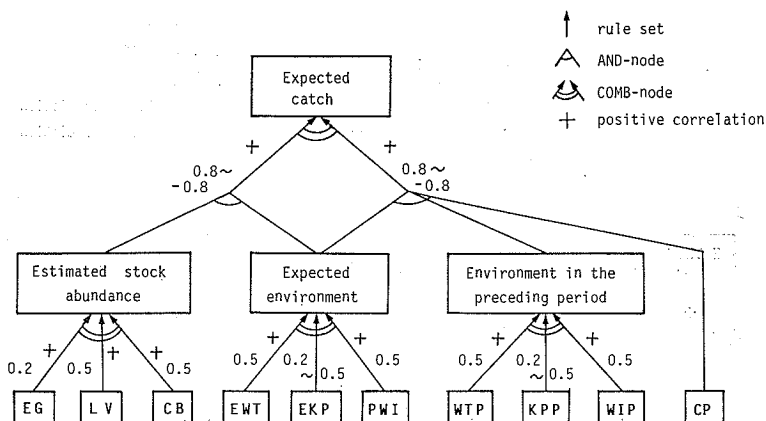


Fig. 1. Inference network through rules for predicting anchovy catch during JAN-FEB period. Numerals indicate values of certainty factor in the rules. Abbreviations of input variables in the bottom line are denoted in Table 2.

Table 1. Examples of rules composing rule-based model for predicting anchovy catch during JAN-FEB period. CF is certainty factor. Though these rules are given in English loosely, they have been actually written in Japanese.

RULE 1		
IF	1) Estimated stock abundance is good and 2) Expected environment for fish appearing is good	
THEN	1) Expected catch is good	(CF=0.8)
	2) Expected catch is moderate	(CF=0)
	3) Expected catch is poor	(CF=-0.8)
RULE 10		
IF	1) Expected water temperature is high	
THEN	1) Expected environment for fish appearing is good	(CF=0.5)
RULE 18		
IF	1) Catch of larvae during JUL-AUG in the preceding year is good	
THEN	1) Estimated stock abundance is good	(CF=0.5)

CF)で表わし、1は完全成立、-1は完全不成立、0は全く不確実を意味する。確信度はルール間の重みづけを表わすとみることにもできる。可能性が非常に高い時を0.8、可能性が高い時を0.6~0.4、可能性が少しある時を0.3~0.2とする目安で確信度の値を与えた。このような目安と、漁況予報「いわし」や文献(三谷, 1978; 1988)にある知見から確信度の値を設定した。

黒潮流路と来遊環境の関係では、黒潮流路がA, B, C型、その他の型の時、それぞれ、来遊環境は「良い」(CF=0.5), 「良い」(CF=0.2), 「悪い」(CF=0.5), 「並」(CF=0.5)と設定した。暖水の流入があるとき来遊環境は「良い」(CF=0.5), 暖水の流入がないときのルールは設定しなかった。その他の変数間のルールは上で例を示したような正の相関関係ですべて表わした。ルールの

総数は52個である。

ルールを順次適用し推論を進める過程で各変数の値の確信度が計算されていくが、その計算方法は既報(青木ほか, 1989)と同様である。これによって不確実さを伴う推論を進めることになる。最終的な結論として予測漁獲量は好漁、並、不漁の3段階のそれぞれの確信度で表わされる。

## 2.2 9~10月期

ルール型モデルの構築についての基本的考え方は1~2月期と同様である。入力変数と推論ネットワークをFig. 2に示す。以下この図をもとに説明する。

この時期の漁獲されるカタクチイワシの主体は、その年の夏に生まれた未成魚で、漁獲物としては一年の中で最も小さい魚体である(三谷, 1989)。入力変数は、5~

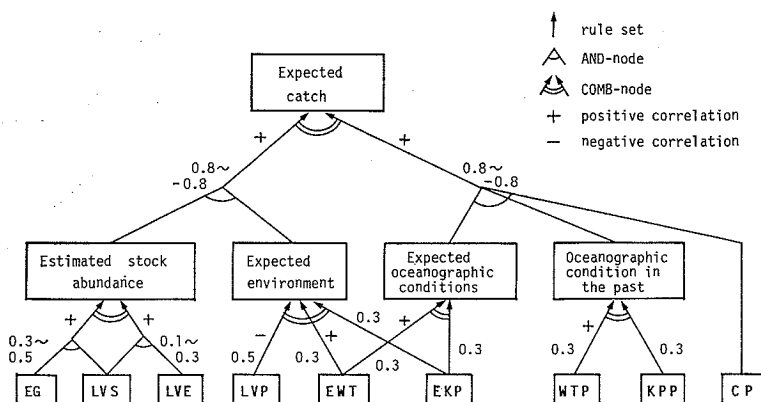


Fig. 2. Inference network through rules for predicting anchovy catch during SEP-OCT period. Numerals indicate values of certainty factor in the rules. Abbreviations of input variables in the bottom line are denoted in Table 3.

6月の相模湾の産卵量 (EG), 7~8月の相模湾のシラス漁獲量 (LVS) と遠州灘のシラス漁獲量 (LVE), 前2期 (5~8月)の相模湾のシラスの漁獲量 (LVP), 前3期 (3~8月)の佐島地区の実績漁獲量 (CP), 当該漁期および前3期 (3~8月)の大島の定地水温 (当該漁期: EWT, 前3期: WTP) と黒潮流路 (当該漁期: EKP, 前3期: KPP) の計9個である。ここで, 遠州灘のシラス漁獲量は静岡県主要港水揚げ量で代表させた。入力変数についての定性的な値の定義は1~2月期と同様である。ただし, 前3期の黒潮流路は6カ月間で最も卓越した型を入力値とし, 前3期の水温については +1°C 以上あるいは -1°C 以下が9旬以上ある時をそれぞれ「高め」, 「低め」, その間を「並」とした。

推論の中間段階に予想資源量, 今期の来遊環境, 今期の海況, 今まで (前3期: 3~8月)の海況の4つの中間変数を考えた。

予想資源量は, 7~8月の相模湾と遠州灘のシラス漁獲量を同時に (AND 関係) 考えるルールセット, 5~6月の相模湾の産卵量と7~8月の相模湾のシラス漁獲量を同時に (AND 関係) 考えるルールセットの COMB 関係で結論される。前者ルールセットでは隣接海域からのシラスの輸送を, 後者ルールセットでは卵~シラスの生残を考慮している。ルールはいずれも正の相関関係を記述している。

今期の来遊環境には, 水温, 黒潮流路に加えて5~8月の相模湾のシラス漁獲量のルールセットを考えた。これは, シラスの生活環境と未成魚のそれとは異なっており逆の関係にあるらしいこと (三谷, 1989) に基づく。す

なわち, このシラス漁獲量と来遊環境の関係は負の相関関係として記述される。水温と黒潮流路の2つだけから判断される結論を, 別に今期の海況と定義した。これは今までの (前3期の) 海況と比較するためである。黒潮流路がA型, B型, C型, その他の型であるときに対し来遊環境あるいは海況はそれぞれ「良い」, 「並」, 「悪い」, 「並」とし, いずれも CF=0.3 とした。水温と来遊環境あるいは海況は正の関係にある。

過去の前3期 (3~8月)の漁獲量はほぼ9~10月の未成魚の親魚に当たる魚群量に相当するとみることができ

る。入力変数, ルール, 確信度の設定値は1~2月期と異なる部分もあるが, ルールを適用しながらの推論方法と確信度の計算方法は1~2月期と全く同様である。ルールの総数は53個である。

### 3. 結果

1983年から1987年の5カ年についての入力変数の実際の値 (Table 2, 3) をこのルール型モデルに当てはめて漁獲量予測シミュレーションを実施した。入力値は2章の方法に記載した諸資料と値の定義に基づく。Fig. 3, 4に, その結果を好漁, 並, 不漁のそれぞれの確信度で示した。比較のために1978~1987年の1~2月期, 9~10月期の実際の漁獲量も併せて示してある。

実際の漁獲量の10年間分の値の分布からその相対値を判断しながら1983~1987年までの計算された予測漁獲量と実際の漁獲量を比較してみると, 2つの漁期とも予測漁獲量は実際の漁獲量変動を比較的好く再現できてい

Table 2. List of values of input variables for simulation of anchovy catch during JAN-FEB period.

Input variables	Abb.	1983	1984	1985	1986	1987
Egg abundance during JUL-AUG in the preceding year	EG	P	P	P	G	G
Catch of larvae during SEP-OCT in the preceding year	LV	M	G	G	M	P
Catch in the adjacent Boso Sea in the preceding period	CB	P	M	G	P	P
Expected water temperature	EWT	M	L	L	M	H
Expected type of Kuroshio path	EKP	B	C	B	other	A
Possibility of warm water intrusion	PWI	yes	no	no	yes	yes
Water temperature in the preceding period	WTP	M	M	M	L	M
Type of Kuroshio path in the preceding period	KPP	C	B	C	C	A
Occurrence of warm water intrusion in the preceding period	WIP	no	no	yes	no	yes
Catch in the preceding period	CP	P	P	M	P	P

G: good, M: moderate, P: poor, H: high, M: moderate, L: low  
A, B, C: type of Kuroshio path

Table 3. List of values of input variables for simulation of anchovy catch during SEP-OCT period.

Input variables	Abb.	1983	1984	1985	1986	1987
Egg abundance during MAY-JUN	EG	G	P	P	M	M
Catch of larvae in the preceding period	LVS	M	M	M	P	P
Catch of larvae in Enshu-nada Sea in the preceding period	LVE	M	M	M	G	P
Catch of larvae during MAY-AUG	LVP	G	P	M	P	P
Expected water temperature	EWT	M	M	M	L	M
Expected type of Kuroshio path	EKP	C	other	other	other	A
Water temperature in the past (MAR-AUG)	WTP	M	L	M	L	M
Type of Kuroshio path in the past (MAR-AUG)	KPP	B	C	C	other	A
Catch in the past (MAR-AUG)	CP	M	M	G	G	P

G: good, M: moderate, P: poor, H: high, M: moderate, L: low  
A, B, C: type of Kuroshio path

るといえよう。

さらに、本方法による予測漁獲量と神奈川県水産試験場から実際に発行された漁況予報「いわし」における予報値（トン数として数値で表わされている）とも比較するために、過去10年間の実際の漁獲量の平均値 ( $m$ ) と標準偏差 ( $s$ ) から  $m \pm 0.5s$  の範囲を「並」、それより大きい時を「好漁」、それより小さい時を「不漁」と区分して整理した (Table 4)。なお、漁況予報「いわし」における予報値は、1~2月期については、前年の9~10月のシラス漁獲量との回帰式に (三谷, 1988)、9~10月については、5~8月の遠州灘のシラス漁獲量 (1983年)、あ

るいは5~8月の相模湾のシラス漁獲量 (1984年以降) との回帰式によっている (三谷, 1989)。

1~2月期についてみると、1985~1987年では2つの方法であまり差はないが、1984年では「いわし」予報値の好漁に対し、本予測値は不漁となっており実際に近い。9~10月については、1985~1987年で本方法による改善が明らかである。また、1983年も本予測結果では並のCFが最も高いが不漁のCFもそれに比べてかすかに低いに過ぎない。1984年も同様に好漁のCFと並のCFの値の差はわずかである。この両年もよい結果を示しているともみることができる。

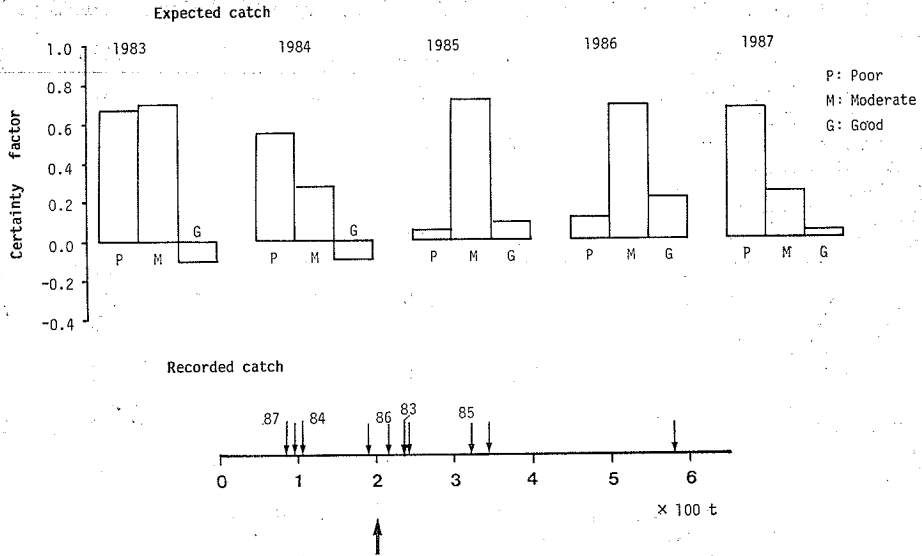


Fig. 3. Results of simulation using the rule-based model and data from 1983 to 1987 for JAN-FEB period. Expected catch of anchovy is given by values of certainty factor for each of three ranks (poor, moderate, and good). Recorded catch is indicated by arrows on the scale. The bold arrow shows the mean for 10 years (1978-1987) catch data.

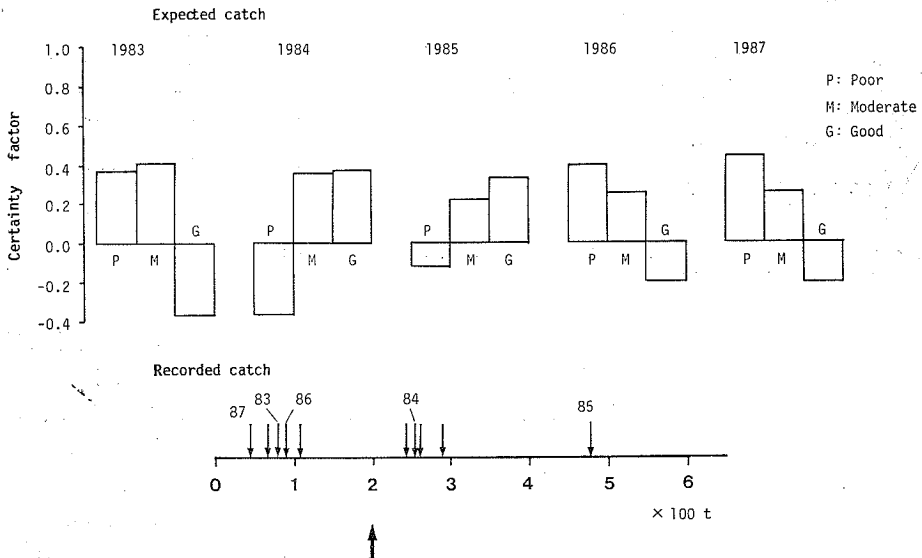


Fig. 4. Results of simulation using the rule-based model and data from 1983 to 1987 for SEP-OCT period. Expected catch of anchovy is given by values of certainty factor for each of three ranks (poor, moderate and good). Recorded catch is indicated by arrows on the scale. The bold arrow shows the mean for 10 years (1978-1987) catch data.

Table 4. Comparison between calculated and recorded catches of anchovy. Expected catch is represented by the rank with the largest value of certainty factor. Forecasted catch is a value in the fishery forecast "IWASHI" actually issued by Kanagawa Prefectural Fisheries Experimental Station (KFES). The recorded and forecasted catches in ton are classified into 3 ranks based on the mean and standard deviation for 10 years (1978-1987) catch data.

	1983	1984	1985	1986	1987
JAN-FEB					
Expected catch by our model	M	P	M	M	P
Forecasted catch by KFES	—	520 G	243 M	157 M	93 P
Recorded catch	238 M	105 P	322 G	216 M	88 P
SEP-OCT					
Expected catch by our model	M	G	G	P	P
Forecasted catch by KFES	381 G	248 M	243 M	385 G	431 G
Recorded catch	79 P	254 M	469 G	91 P	45 P

P: poor, M: moderate, F: good

#### 4. 考 察

現段階では、予測漁獲量は3段階評価の粗いものであるが、ルールモデルによる漁況予測は方法論としては有効であることを示すことができた。また、実際に今まで行なわれていた予測に比べて本モデルによる方法では改善を見ることができた。

今までの予測は、漁獲量に対して1つの説明変数を考える単相関に基づいていた。それに対し、本モデルでは、その回帰式には含まれない知見や回帰線からはずれざる事例についての考察(三谷, 1988; 1989)をもとにさらにいくつかの変数やルールセットを組み込んだ。

漁況変動には多くの要因が関与しているので、漁況予測の問題に多変量解析を適用する例はすでにいくつか見られ、最近では松村(1989)による重回帰分析やSHINO-MIYA *et al.* (1990)の主成分分析と判別分析がある。多変量解析では仮定する数式モデルに過去のデータを当てはめパラメータを決定し予測モデルとする。一般には変数間の独立性や線形性の仮定がおかれる。また、データに欠落があると使いにくいという面もある。

知識工学的モデルでは、データベースのように、既往の知識をモジュール化して知識ベースとして蓄え利用する。容易に知識を追加したり、変更したりできるように設計されているので拡張性と柔軟性が大きい。

ただし、この2つの手法は対立的なものではない。本モデリングにおいても変数の選択やルール化のために2変数間の単相関を調べている。ただその際に厳密な相関関係にはこだわってはいない。同時に、場合によってはルール型モデルを設計するときにデータが収集され多変量解析が前もって行なわれることもあるだろう。

ルール型モデルを用いると調査研究でえられる個々の

知見を表現しやすく、そしてそれを直接漁況予測に役立てるために体系化しやすと思われる。ほかの複雑なダイナミックなシステムについても、例えば、湖の環境管理のための、定性的表現による生態系のルール型モデル(STARFIELD *et al.*, 1989)や、言語で記述されるルールによる経済分析システムの例がみられる(佐和・間遠, 1989)。

肥満度、体長組成、成熟度指数などの魚体測定資料や他海域での漁獲の状況も資源の動向を考える上で有用な資料である。また、海況の指標としても多地点の水温などもさらに考慮していくこともありうる。今後これらも取入れた、より詳細な知識ベースにしていくことも必要である。

今回は予測漁獲量を3段階の値で表わした。階級数を多くすれば予測値がきめ細かくなることになるが、値の組合せ数が増えることによってルール数が増大することになる。これを回避するためにファジー推論の導入があり得る。ファジー推論によれば相対的に少ないルール数で数値データとして出力することが可能となる。また、「大きい」、「小さい」などの言語表現も境界がぼやけたファジー集合で表わされるので、ある境界で「大」「小」を区分するよりも柔軟性がある。また、判断に含まれる主観的あいまいさを扱うことができる。

相模湾の定置網漁獲資料はすでにデータベース化されている(水津ほか, 1988)。将来、このようなデータベースと、漁況を予測推論するための知識ベースを結合させることは互いにその有用性を高めることになる。それにより現況の把握と先行きの動向予測がシステム化されることも夢ではない。また、長期予測のような、より広域で複雑な問題への本アプローチの適用の可能性も検討

していく必要があるだろう。

文 献

- 青木一郎・稲垣 正・三谷 勇・石井丈夫 (1989) カタクチイワシの漁況予報へのエキスパートシステムの応用. 日水誌, 55, 1777-1783.
- 漁業情報サービスセンター (1989) 昭和63年度長期予測高度化技術開発試験報告書. 74 pp.
- 松村靖治 (1989) 対馬沿岸におけるクロマグロ幼魚の漁獲量変動要因の重回帰分析による解析. 日水誌, 55, 1703-1706.
- 三谷 勇 (1978) 神奈川のカタクチイワシ. 神水試資料, No. 259, 61 pp.
- 三谷 勇 (1988) イワシ類漁況予報の根拠と検証Ⅲ, 冬季のカタクチイワシ未成魚の予測. 神水試研報, 9, 27-34.
- 三谷 勇 (1989) イワシ類漁況予報の根拠と検証Ⅴ, 秋季カタクチイワシの予測. 神水試研報, 10, 53-61.
- 佐和隆光・間遠伸一郎 (1989) 経済分析における定性推論の意味と意義. 人工知能学会誌, 4, 516-518.
- SHINOMIYA, H., M. TERAUCHI, T. HIGASHI and S. IWATA (1990) Discriminant analysis of spotted mackerel *Scomber australasicus* fishing conditions in Sagami Bay by principal components of SSTs. Proceedings of The Second Asian Fisheries Forum, eds. R. Hirano and I. Hanyu, Asian Fisheries Society, 785-788.
- STARFIELD, A.M., B.P. FARM and R.H. TAYLOR (1989) A rule-based ecological model for the management of an estuarine lake. Ecol. Model., 46, 107-119.
- 水津敏博・前川千尋・青山雅俊 (1988) 相模湾沿岸定置網漁獲資料のデータベースの作成について. 神水試研報, 9, 79-88.