

水産資源管理談話会報

第 4 号

ファジー制御およびエキスパートシステム

日本鯨類研究所 資源管理研究所

1991年11月

目 次

お知らせ	．．．．． 2
桜本和美 （東水大） ファジィ制御による鯨類資源の管理	．．．．． 3
青木一郎 （東大海洋研） 水産資源とエキスパートシステム	．．． 18
松田裕之 （中央水研） 編集者への手紙 ファジィに何を期待するか？	．．． 27

財団法人 日本鯨類研究所
資源管理研究所

〒104 東京都中央区豊海町4-18 東京水産ビル
03-3536-6521
Fax 03-3536-6522

お知らせ

『水産資源管理談話会報 第4号』をお届けします。この号は1991年7月15日に東京水産会館会議室で行なわれた談話会の報告です。今回は春の日本水産学会大会で発表された報告のなかで特に興味を引いた二つの話題を選んでみました。ファジー制御とエキスパートシステムです。興味を引かれた理由は、これらのカタカナ言葉が近ごろ流行っているということもありますが、水産資源の管理（予測の問題も含めて）のなかに必然的に含まれているあいまいさ、不確かさに対応するために大変魅力ある方法のように思われるからです。このような考え方はまだ水産学に導入されたばかりですから、研究は試行錯誤の段階を出ていないというべきですが、水産技術の一つとして将来もっと発展させる必要があると思います。話題を提供してくださった桜本さん、青木さん、コメントをお寄せくださった松田さんに感謝します。

先にお知らせしましたように、第5回談話会は、10月21日（月）に開催されました。1984年から続けられている漁業資源管理適正化方式開発調査をめぐって、話題提供と討論が行なわれました。30名以上の方の出席があり盛会でした。この日は日本水産資源保護協会の研修室をお借りしましたが、ご好意に感謝いたします。会報第5号は新年早々に刊行の予定です。

10月12日に日鯨研内の部屋がえがあり、会議室が大きくなりました。30名以上の集会も楽に開けます。第6回会合予定は未定です。

『水産資源解析勉強会』が来年4月3日に開かれます。その外、資源管理や資源解析関係のシンポジウムを今後毎年、水産学会、水産海洋学会、共同利用研シンポなどとして開催する計画が進行中です。計画が確定次第発表されることと思いますが、ご注目ください。

（田中昌一）

ファジィ制御による鯨類資源の管理

桜本和美（東京水産大学）

はじめに

ファジィ理論は1965年に現代制御理論の創立者の一人でありこの分野の権威でもあるカリフォルニア大学のZadeh教授によって提唱された”ファジィ集合”という論文を始まりとして発展してきた理論である。その後ファジィ理論を応用したファジィ制御は応用面で工学者の注目を集めるようになり、産業界での実用化が急速に開始されるようになった。1984年には国際ファジィシステム学会が結成されるに至っている。現在では、地下鉄や列車の自動運転、浄水場の水制御、ロボットの制御、ゴミ焼却炉の制御等々従来の制御方式では困難とされた多くの対象に対して応用され成果をあげている。

ファジィとはもともと羽毛のようにふわふわとして境界のはっきりしない様を表す英語の形容詞である。従来の集合論では定義されなかった美しいとか若いとか大きいとか言葉のもつあいまいな概念もファジィ集合が提案されることによって集合として取り扱うことが可能となった。あいまいさを積極的に取り込んで処理し推論していくファジィ制御が、従来の制御方式に比べて有効であると考えられている理由を述べると以下のようになるであろう。

- (1) 現代制御理論のように厳密・精密な理論を用いて複雑なシステムを定式化しようとする、実に膨大な労力が必要になる。それは単に対象をモデル化するのが大変であるということばかりでなく、コンピュータで実行する段階になったとき膨大な時間がかかりときには実行不可能になることもある。制御すべき対象がますます複雑になってきている現在においては従来のような制御理論では行き詰まってしまう。
- (2) 複雑なシステムを取り扱うときには対象のモデルがわからない場合が多い。また、状態変数がうまく観測できないような場合も多い。
- (3) 定式化されモデル化されたシステムのパラメータのうちのいくつかは数値を既知として与える必要があるが、実際にはパラメータの数値を正確に決めることができない場合が多い。厳密・精密な理論・制御方式を用いているにもかかわらず、実用の段階では適当な数値を与えてなんとか結果をだしてくるというようなこともよく行なわれる。逆のいいかたをすれば、厳密・精密な理論・制御方式であるが故にこのような致命的な欠陥が内在しているともいえる。

一方、水産資源の研究（漁況予報や資源管理など）でいつも問題となる不確実性を列挙すれば、

- (1) 対象とする生物資源のダイナミックスがよくわからない。
- (2) 対象とする資源の生物学的パラメータがよくわからない。
- (3) ストックの分布範囲が明確ではない。
- (4) 資源の変動に与える海洋条件の影響が大きい（ときには決定的である）にもかかわらずそれらの関係がよくわかっていない。
- (5) 複数の操業方法・形態があり漁獲データの取り扱いが簡単ではない。
- (6) 使用できる漁獲データの精度が良くないし、量的にも限られている。

等々である。これら水産資源研究を行なう際に問題となる不確実性はまさに複雑なシステムを制御しようとするときに直面する問題と同質のものであり、ファジィ制御が複雑なシステムの制御に有効であるとするならば、水産資源研究にとっても有効であることが期待される。

実際に(1) - (3)については鯨類資源の管理を考える場合に国際捕鯨委員会（IWC）科学委員会でもクローズアップされ問題となった。非常に簡単なシステムを仮定して、例えばストックの分布範囲が明確で、対象とする資源のダイナミックモデルが単純でかつ鯨のように海洋条件などの影響をあまり受けず、しかもある程度ダイナミックモデルに関係する生物学的な知見がわかっている場合、さらに捕獲が非常にシンプルに規則どおり行なわれる等々、かなり理想的な場合には資源の管理が可能であることがIWC科学委員会で発表された多くのシミュレーションによって明らかにされている。しかし、ダイナミックモデルの一部、たとえばMSY（最大持続生産量）などの予想される範囲が少し大きくなると大きなMSYに対しては極端な過小開発が起こること、ストックの分布範囲が明確でない場合には少しイジワルな状況（沿岸捕鯨などではありえない仮定ではない）を設定すると、現在提案されているすべての方式で資源は絶滅してしまうことなどが明らかにされている。しかし、現在のところこれらの点は今後の検討課題として未解決のまま残されており、容易に解決されそうにはない。

IWCでは1991年のIWC科学委員会でC方式（Cook, 1991）をコアとなる基本的な（つまり、1つのストックが1つの管理海区に在るという理想的な場合についての）次世代の管理方式と決定し、ストックの分布範囲が明確でない場合にどのような方式（ルール群）を設定していけばよいのかを今後検討していくことになっている。すなわち、目視調査を中心としたいろいろな情報からストックの分布範囲などを推測しながらコアとなるC方式をどのように運用していくかを考えるという発想（作業手順）である。シミュレーションテストでどの程度の種類の情報を用いることを仮定するかはまだ決定されていないし、またシミュレーションテストではそれほど多くのファクターを取り込むことは困難であろうが、実際に管理が実行される状況を考えると、CPUEの変化や、年

令組成や体長組成、性成熟年令の変化なども考慮に入れて総合的に判断し、管理していくという状況になるはずで、このような状況に適した方式が採択されるべきであろう。このように精度はあまりよくないが多種多様な情報をもとに総合的に判断し管理を実行していくような場合にはファジィ制御などが適していると考えられる。

また、漁況予報などでは次のような情報が利用できよう。

- (1) CPUE の変化
- (2) たとえば、まき網船などの操業位置（漁場位置）の移動
- (3) 対象種によっては黒潮の流路やパターン、冷水塊の消長
- (4) 年令組成の変化や卓越年級群の存在の有無
- (5) 体長組成・体重組成や肥満度などの成長の状態
- (6) 他の地域の（場合によっては日本全体の）あるいは隣接地域での漁況
- (7) 数年間の漁況変動や数カ月前の漁況

等々である。ファジィ制御を用いる第2の目的はこれらの定性的ではあるが多種多様な情報を利用して、総合的にまた論理的（機械的）に漁況の予測を行なえるようにすることである。しかし、このことは何も新しいアプローチの仕方ではなく、とくに漁況予報などではずっと昔から行なわれてきたむしろオーソドックスな方法であるといえる。ただ従来は経験豊かなエキスパートが上記のようなデータや情報を解析し、永年の“経験や感”といったものも働かせて総合的に判断をしていた。ここでの目的はそれらをコンピュータを使ってやらせようということである。経験豊かなエキスパートが行っていたことをコンピュータにやらせるための橋渡しをする手段がファジィ理論であると言い換えてもよいだろう。

今回は上記2つの目的のうちの前者、すなわち鯨類資源の管理に適用した場合の例について述べる。ストックの分布範囲が明確でないような複雑な場合を取り扱うところまではまだ研究が進んでいないが、その前段階として、ストックの分布範囲が明確にわかっている場合の結果について紹介する。鯨類資源の管理の問題をまず取り上げた理由は現在筆者が鯨類資源の管理方式の開発に係わっているので鯨類資源の管理方式への応用がしやすかったこと、また、すでに触れたように現在 IWC 科学委員会では鯨類資源の新しい管理方式の開発作業が進められており、提案された5つの管理方式の有効性を調べるための膨大なスクリーニングテストを課している。ここ数年の議論のなかでどのようなスクリーニングテストを課すべきかその標準的なプロトコルが出来上がっていること、また各方式のスクリーニングテスト結果も得られており、ファジィ理論を応用した場合の有効性や問題点を検討するには格好の材料を与えていると考えられるからである。漁況予報などへの適用は今後の検討課題としたい。

以下に南半球産ミンククジラに適用した場合の結果について述べる。ただし、紙面が

限られていることもあるので、詳細な技術的記述は別の機会に譲り、ここでは基本的な考え方についてのみ簡単に説明したい。

南半球産ミンククジラ資源に適用した場合

既に述べたようにIWC科学委員会では提案された管理方式をチェックするための標準的なプロトコルが決められている。ここでもそのプロトコルに従って管理方式を構築する。

まず、使用できるデータであるが、南半球産ミンククジラ資源の管理について基本的に使用できると仮定されているデータは次の2つである^{*)}。

- (1) 5年毎に行なわれる目視調査による資源推定値
- (2) 過去及び毎年の漁獲データ

さらに基本的な設定条件として次の様な仮定が置かれている。

- (1) 管理が行なわれるまでに30年間捕獲が行なわれていて、捕獲が開始された時点(30年前)は初期資源水準にあった。

以上のような条件のもとに管理を実行することになる。管理を行なうために制御すべき事項は大きく次の4つの部分に分けられる。

- (1) 管理を実行する最初の時点でどのように捕獲数を決定するか
- (2) 捕獲数をどのように変更していくか
- (3) どのような状況になったら捕獲を禁止するか
- (4) どのような状況になったら捕獲を再開するか

ここでは簡単のため、(2)の部分のみ説明することにする。
ファジィ変数として次の4つを考えた。

- X1: 管理を始めてからの経過時間
- X2: 管理を始める時点での資源の状態
- X3: 現在の資源の状態
- X4: 現在の資源の増加・減少傾向

X2、X3についてはまず、簡単な資源動態モデルを仮定して、過去30年間の漁獲

.....
* モデル従属型管理方式(後述)はこれ以外にも既知の情報として、真の余剰生産量モデル、MSYL (MSYを与える資源水準)、自然死亡係数、性成熟年令等の値を用いている。

データから環境容量 K を逆算する。管理を始める時点、あるいは現在の資源推定値と環境容量 K の比をとって管理を始める時点での資源状態、現在の資源状態をあらわす指標とした。 X_4 については過去15年間の資源推定値に回帰直線をあてはめ、その傾き b を資源推定値の平均で割った値を現在の資源の増加・減少傾向をあらわす指標とした。それぞれのファジィ変数は6つのカテゴリーを持つものとした。すなわち、変数 X_3 であれば、現在の資源の状態が(1)非常に悪い(2)悪い(3)やや悪い(4)やや良い(5)良い(6)非常に良いの6つである。他の変数についても表現はそれぞれ異なるが同様に6つのカテゴリーに分類した。それぞれの変数に対するメンバーシップ関数はすべて図1に示したものを仮定した。

上記の準備のもとに3つのファジィ・コントローラ(ルール群)を作制した。

コントローラ1で使用するファジィ変数

X_1 : 管理を始めてからの経過時間

X_2 : 管理を始める時点での資源の状態

X_3 : 現在の資源の状態

コントローラ2で使用するファジィ変数

X_1 : 管理を始めてからの経過時間

X_3 : 現在の資源の状態

X_4 : 現在の資源の増加・減少傾向

コントローラ3で使用するファジィ変数

X_1 : 管理を始めてからの経過時間

X_2 : 管理を始める時点での資源の状態

X_4 : 現在の資源の増加・減少傾向

普通ファジィルールは”もし・・・ならば・・・せよ”というIF THEN型の形で与えられる。この”もし・・・ならば”の部分の前件部、”・・・せよ”の部分の後件部と呼んでいる。以下に例としてコントローラ1およびコントローラ3で用いたいいくつかのルールを示すが、ルールの内容をより感覚的に説明するために、表現は”もし・・・ならば・・・せよ”という形をとらずに記すことにする。

コントローラ1でのファジィルールの例

ルール: 現在の資源状態はあまり良くない。しかし、管理を始める時点での資源の状態も余り良くなかったし、管理をはじめてから余り時間(年)も経過していないので漁獲量が大きすぎるとは判断できない(もう少し様子を見よう)。

ルール: 現在の資源状態はあまり良くない。管理を始める時点でも資源の状態は余

り良くなかったが、管理をはじめてからかなり時間（年）が経過している。
漁獲量を少し減らしたほうが良いだろう。

ルール： 現在の資源状態はかなり良い。管理を始める時点での資源の状態もかなり良く、また管理をはじめてから余り時間（年）も経過していないので現在の資源状態が比較的良いからといって漁獲量を増やすのは考えものである（もう少し様子を見よう）。

ルール： 現在の資源状態はかなり良い。管理を始める時点での資源の状態もかなり良く、また管理をはじめてからかなり時間（年）が経過しているので漁獲量を増やした方が良いだろう。

ルール： 現在の資源状態はかなり悪い。管理を始める時点での資源の状態はかなり良く、また管理をはじめてからあまり時間（年）が経過していない。このことは現在の漁獲量がかかなり大きすぎることを示していると考えられる。漁獲量をかなり小さくする必要がある。

コントローラ 3 でのファジィルールの例

ルール： 現在の資源はやや増加傾向を示している。しかし、管理を始める時点での資源の状態は余り良くなかったし、管理をはじめてから余り時間（年）も経過していないので漁獲量を増やす必要はないであろう（もう少し様子を見よう）。

ルール： 現在の資源はかなりの増加傾向を示している。管理を始める時点での資源の状態は余り良くなかったが、管理をはじめてからかなり時間（年）が経過していることもあり漁獲量を少し増やした方が良いだろう。

ルール： 現在の資源はかなりの減少傾向を示している。しかし、管理を始める時点での資源の状態がかなり良く（初期資源に近い）、また管理をはじめてからあまり時間（年）も経過していないので資源の減少は当然であると考えられる。漁獲量をただちに減らす必要はないであろう（もう少し様子を見よう）。

ルール： 現在の資源はかなりの減少傾向を示している。管理を始める時点での資源の状態はかなり良かったが（初期資源に近く）、管理をはじめてから少し時間（年）が経過していることもあり漁獲量を少し減らした方がよいだろう。

ルール： 現在の資源はやや増加傾向を示している。管理を始める時点での資源の状

態は比較的良かった。管理をはじめてから余り時間（年）が経過していないことを考えると漁獲量が小さすぎる可能性が高い。漁獲量をかなり増やしてもよいだろう。

上記のように必要と思われるルールをどんどんつくっていけばよい。ただし、ここでは簡単のため機械的な組み合わせでルールを作っていた。すなわち、ルール数は前件部の変数の数とそれぞれの変数のカテゴリーの数によって決まる。例えばコントローラ 1 では前件部の変数の数が 3 でそれぞれの変数のカテゴリーの数が 6 であるから 3 の 6 乗で 729 のルールからなる。従って、上記（2）の”捕獲数を変更していくルール”は全部で $729 \times 3 = 2187$ 個あることになる。もし、4 つの変数をひとまとめにしてコントローラを作成すると、4 の 6 乗で 4096 個のルールが必要になる。コントローラを 3 つに分けた第一の理由は全体のルール数を減らすためである。また、コントローラをいくつかに分けておくことによって各コントローラの推論結果に重み付けを行なうことも可能になる。

シミュレーション

シミュレーションの設定条件は IWC 科学委員会に従って以下のケースで行なった。

（1）MSY rate

MSY/MSYL を MSY rate と定義する。MSY rate については従来 IWC 科学委員会においていろいろな鯨種、ストックについて推定値が提案されている。合意に達するほど精度よく推定されたケースは少ないが、ここではそれらの数値をカバーする範囲として 1 % から 7 % の範囲を想定し、1 %、4 %、7 % の 3 種類を仮定した。

（2）管理を実施するときの資源水準

ほとんど初期資源水準にある資源（0.99K）、MSYL にある資源（0.60K）、初期資源水準の 30 % まで減耗してしまっている資源（0.30K）の 3 ケースを仮定した。

上記の 2 項目の組み合わせによって次の 7 ケースを基本ケースとした。記号の D、R、S はそれぞれ、Development Stock, Rehabilitation Stock, Sustainable Stock の頭文字を取ったもので、管理を実施するときの資源水準に対応している。記号 D、R、S のあとの数字は MSY rate を示す。

- （1）D 1（0.99 K、1 %）
- （2）D 4（0.99 K、4 %）
- （3）D 7（0.99 K、7 %）
- （4）R 1（0.30 K、1 %）
- （5）R 4（0.30 K、4 %）
- （6）R 7（0.30 K、7 %）

(7) S 1 (0.60K、1%)

IWCが設定している3つの管理目標

IWCが設定している3つの管理目標は以下の3点である。

- (1) 高い生産性が達成されること
- (2) 捕獲枠の年変動が小さいこと
- (3) 資源水準を極端に低くしてしまう危険性が小さいこと

上記3つの管理目標を同時に満たすことは容易ではない。高い生産量を上げようとするれば当然資源水準は低く押さえられるし、また、資源水準を極端に低くしてしまう可能性もそれに伴って高くなる。また、捕獲枠の年変動を小さくすることと高い生産性を達成するということは相反することが多い。すなわち、資源を安全に管理しながらどの程度まで効率の高い生産性をあげうるかという相反する多目標がある場合の最適化問題になっている。

シミュレーション結果

提案された管理方式がIWCが設定している上記の3つの管理目標をどの程度達成しているかを調べるために数々の統計量が計算されている。シミュレーションでは管理を始めてから100年間の資源の動向、漁獲量を計算する。100年後の資源水準 (Final Size)、100年間の最小資源水準 (Lowest Size)、100年間の総漁獲量 (Total Catch) を記録する。また上記の管理目標の(2)の達成度を見積るために漁獲量の年変動を表す統計量 (AAV) も計算する。同じことを乱数系列を変えて100回実行し (観測誤差は対数正規分布に従うものとし、 $CV=40\%$ とした)、100回のトライアルでの上記統計量を小さい方から順番に並べる。100年後の資源水準、100年間の総漁獲量については5%点、50%点、95%点をそれぞれプロットする。最小資源水準については5%点、10%、25%点をプロットする。

結果を図2に示した。図2には他の管理方式のシミュレーション結果も示してある。Sは余剰生産量モデルを仮定せず資源水準や増加、減少傾向のみから捕獲枠を増減していくモデル独立型管理方式、P, M, C, Dは余剰生産量モデルを仮定し、モデルのパラメータ (MSYやKなど) を推定することによって捕獲枠を決定していくモデル依存型管理方式である。今回の結果はFで示した。Total Catchは大きい程よい (Total CatchはKを1とした場合の相対値で示してある)。Final Sizeは0.6Kに近い程よい (シミュレーションで仮定されている真の資源は $MSYL=0.6K$ としている)。Lowest Sizeがあまり小さいとそれだけ絶滅の危険が大きいことになる。AAVは小さいほどよい。

図2からわかることは以下のとおりである。

- (1) Fは5%点と95%点の間隔がかなり大きい。

- (2) FはSに比べると高い Total Catch を実現している。他のモデル依存型方式と比べてもそれほど遜色はない。また、R のシリーズでは他のモデル依存型方式より MSY rate の変化にやや良く対応しているように見える。
 - (3) F の AAV は5つの方式中最も小さいSと同じぐらいのレベルにある。AAV が小さいのはSの特長になっているが、Sで AAV が小さいのは Total Catch が小さいことによるものであると Punt and Butterworth (1991) は指摘している。しかし、Fは Total Catch がモデル依存型と同程度であるにもかかわらず AAV は極めて小さい。
 - (4) Final Size はモデル依存型とほぼ同じレベルにあるがやや 0.6K に近いケースが多い。
 - (5) Lowest Size は MSY rate が1%のケースで他の5つの方式より小さい。
- (1) と (5) は今回提案した方式の欠点、(3)、(4) は長所、(2) はSに対する長所ということになるであろうか。

考察

今回の結果だけを見るとファジィ制御を応用しても50歩100歩という印象を持たれたかも知れない。残念ながらいまのところこの程度の結果しか得られていない。しかし、他の5つの方式がここ数年間改良に改良を重ね、ようやく到達した完成度の高いものであることを考えると、ここで示したものはわずか数カ月の間にゼロからプログラミングを行ない、わずかの期間内でチューニングを行なっただけの未完成品である。いままでは鯨の管理方式の開発を行ってきた経験はもちろん無視できないが、効率の良いモデル依存型の方式^{*}と比べてもそれほど見劣りのしない方式がこれほど短期間で試作できたことは、今まで管理方式の開発に悩まされてきた小生にとっては正直言って驚きであった。ファジィ理論を応用することによって今までの管理方式開発の経験をぬきにしても恐らく従来の場合に比べて数分の一程度の労力で新しい方式の開発が可能になると思われる。このこともファジィ理論を応用することの利点の一つであることは既に述べたとおりである。今後の改良点を上げれば、

* 既に述べたようにモデル依存型管理方式は既知の情報として真の余剰生産量モデルや MSYL、自然死亡係数、性成熟年令等を用いている。推定すべきパラメータは MSY rate と K のみである。従って、それらの情報を用いないモデル独立型管理方式より効率の良い管理方式となっている。しかも、パラメータを推定するときに仮定する余剰生産量モデルが真のモデルから多少ずれていてもそれほど結果に影響しないこともシミュレーションテストにより明らかにされている。しかし、この方式が鯨類などに比べると、資源変動などがはるかに大きい魚類などを対象とした管理にも有効であるかどうかは疑問である。

(1) 基本となる推定値・情報の整備

上記(1)の欠点は管理を実行するときの最初の捕獲枠の与え方に問題があるようである。すなわち、管理を実行するときの資源状態の推定方法に問題があり、ファジィ制御の善し悪しとは少し問題が異なるように思う。ファジィ制御の良さが生かせるように今後改良したい。

(2) 部分的なファジィ化から完全なファジィ化へ

今回示した方式は完全なファジィ化が完了しているわけではない。例えば過去15年間の資源の増加・減少傾向(5年毎に目視調査をするから4つの資源推定値に回帰直線あてはめたときの傾き)を入力変数としてファジィ推論を行なっているが、この場合には資源推定値の推定誤差もダイレクトに結果に影響してくる。そのような方式の代わりに5年前に比べて今年の資源状態がよいか否かの判断を(将来的には5年前の年齢組成や体長組成と今年のそれとを比較してどのように変化したか等を含めた判断を)ファジィ数間の大小関係などを用いて行ない、その結果をファジィ推論に用いるなどの変更を行なっていくことにより、観測誤差等にロバストな制御ができるのではないかと考えている。このようにファジィ化できるあるいはしなければならない部分はまだまだ多いと思う。

おわりに

談話会当日参加者の方々からいろいろな御意見をいただいた。ファジィのやり方そのものに、あるいは応用する対象に疑念をもっておられる方もおられたようである。また、談話会当日はファジィルールをどのようにデジタルコンピュータで実行させるか等の翻訳作業を中心にお話ししたので、言葉によって記述されたルールによって推論・制御するというファジィ的なアプローチと、数字の取り扱いを中心とする通常の制御方式との相違があまりはつきりしなかったかも知れない。ファジィ的アプローチといっても見た目には、というよりデジタルコンピュータが実際に行なっていることは普通の数字の演算である訳だから。従って、ここではミニ・マックス合成などのファジィ推論の話は割愛して、ファジィを用いる背景やファジィ制御を適用した場合の利点などに焦点をあてて記述した。

また、談話会当日、漁況などの予測の神様のことが話題となった。ファジィ理論を使った予測の方式(ファジィ予測方式と呼ぶことにする)のどこがどのように予測の神様が行なっていることと異なるのかということである。このことについて少し述べたい。このことはどのようにメンバーシップ関数を仮定するかということとも極めて深く関係するし、メンバーシップ関数の与え方に疑問をもっておられる方への解答にもなるのではないかと考えている。すなわちこうである。今10人の予報官がいたとする。この10人の予報官のなかでもAさんの予報はよく当たるとの巷の評判であったとする。今10人の予報官がそれぞれファジィ予測を行なうことになったとする。但し、ここでAさんをはじめとするすべての予報官が”ファジィのようなわけのわからないものは使い

たくない、俺は俺のやり方でやるんだ”などというようなことは言わないと仮定し、また、ファジィに関する知識・ファジィ化を行なう技術はみんな同じであると仮定する。そうするとここに十人十色の10個のファジィ予測方式ができあがることになる。さて結果はどうであろうか？

結果はやはりAさんの作ったファジィ予測方式がよく当たると言うことになるであろう。ではいったいどこがどのように他のファジィ予測方式と異なるのだろうか。そのまず第一はAさんの作ったファジィ予測方式がどのようなファクターを変数として取り上げているかということである（このことは何もファジィ予測に限ったことではない。どのように厳密な制御理論を用いても対象をどのようにモデル化するか、言い換えればどのような変数を選んでくるかは恣意的に決定される訳であるから。この点からいえばメンバーシップ関数の決め方が恣意的であることをもって科学的ではないとの批判はあたらない）。よい予測ができる人は他の予報官があまり注目しないようなある要因を極めて重要視していたり、ある要因とある要因が特に・・・のような状態になれば・・・のような結果になる可能性が極めて高くなる等々独自のルールをいくつも持っているはずである。さらにはそれらのファジィ変数に対するメンバーシップ関数の与え方も実に巧みで的をえたものになっているであろう。ファジィを用いたから良く当たるのではなくて、よく当たる人が作るから良い予測方式が出来上がるのである。つまり、ファジィを用いる理由はよい予測を行なうことのできる人が普段行なっていることを客観的に記述し計算機に実行させることが主目的であって、誰がやってもファジィを用いればうまく行くと言うことを期待している訳ではない。

それではわざわざファジィなど用いる必要はないではないかと思われるかもしれないが、ただここで注意していただきたいことは、ファジィ予測方式が作成されたことによってエキスパートの知識やノウハウが客観的に記述され、予報のエキスパートでなくてもプログラムをじっくり読めばそのノウハウを理解することが可能になったということである。Aさんが急に転勤になっていなくなっても、あるいは退職してその仕事をやめてしまっても、極端に言えばAさんの作ったファジィ予測方式さえあれば誰でもAさん級の予報を出すことが可能になったわけである。また、感度テストなどを行なってどの部分のルール群が結果に重要であるかも調べられるだろう。さらに、新しい知見などを取り込んで新しいルールを付け加えていくことによって、予測精度の向上を計ったり、ルールを蓄積することによってそれこそ人間の直感だけでは対処できないようなより大きなスケールでの予測を行なうことも可能になるかもしれない。

最後に人口知能学会誌に掲載された座談会での菅野道夫氏の言葉を引用して結びとしたい。”ファジィの良さは、私はこう思う、あなたはこう思うということです。今までのサイエンスはすべての人に納得されることを当然のこととしてきました。ファジィは違う、優れて個我的です。”

追記

編集者から中央水研の松田氏からのコメントが送られてきました。”反論があれば原稿中に記載せよ”とのことでしたので、一点追加しておきたいと思います。

ファジィ理論は定性的なものに対してのみ有効か？

ファジィ理論がもてはやされるようになった理由の一つとして、従来取り扱えなかった定性的な推論・制御が行なえるようになったことがあげられる。しかし、このことは入力が定性的な変数であっても取り扱うことができるということであって、定性的な変数の方がより向いているということを意味するものではない。従来できなかったことができるようになったということはセンセーショナルなことであるため、その点がやや強調され過ぎたきらいがあるようにも感じられる。しかし、実際には定量的な推論・制御にこそファジィの有効性が秘められているのではないかと私は考えている。現にファジィ推論・制御が応用されている例のほとんどは、本来定量的な制御の対象とされていたものである。ファジィ洗濯機は水の汚れ具合や水温等をセンサーで感知し、それを入力変数としてファジィ推論を行なう。このときの入力変数は定量的な値である。結果は”よごれがひどいから洗剤を多くして、すこし長い時間洗う”ということになるのであるが、このままでは洗濯機はどうしていいのかわからないから、”洗剤を15グラムいれて20分間洗う”といった定量的な推論結果に直して実行させることになる。その他、例をあげればきりが無いが、自動車のエンジン制御、飛行機の離着陸制御、ロボットの制御、空調制御等々、入力も出力も定量的なものにどんどんファジィ制御が応用されている。

それではファジィ推論・制御はいったいどこがどのように従来の制御方式とちがっているのかということであるが、私の見解はこうである。私はファジィ理論の本質は”about な世界”にあると考えている。通常の定量的な数字の”5”はまさしく”5”そのものであって、”4.99999”でもなければ”5.00001”でもない。ところがファジィ数の”5”は”4.5”であることも含めば”5.5”であることも意味している。意味合いとしては強くないかもしれないが”4”であることや”6”であることも含んでいる。そういう世界で成り立つ理論がファジィ理論であると私は理解している。

例をあげよう。鯨の管理方式で本文中Sで示したモデル独立型方式(Sakuramoto, Tanaka and Tang, 1990)では資源のトレンド(増加・減少傾向)と目標資源水準と現在資源水準の差によって捕獲枠を調節していくという方式をとっている。しかし、ここでファジィ推論方式と決定的に違う点は、もし、資源が”2%”減少しているということが観測されたなら、それはまさしく”2%”なのであって”1.99%”でもなければ”2.01%”でもない。まさしく”2%”として2h% (hは比例定数)捕獲枠を削減する。これに対してファジィ推論では”2%”減少していると観測されたとき、”about 2%”減少したと見なして推論が行なわれるのである。すなわち、”1.5%”

であることも含めば” 2.5 %” であることも、ときには（意味合いとしては強くないかもしれないが）” 1 %” や” 3 %” であることさえも含めて考え推論していくのである。この点が従来の定量的な方式とファジィ制御との決定的な相違になっている。

参考文献

- 1) Anon.: Mg. Rep. Appendices 3-6, *Rep. int. Whl. Commn.* 42 (1992 年出版予定) .
- 2) Cooke, J. G. : Description of a whale stock management procedure. Document: IWC/SC/43/O21 (1991).
- 3) Punt, A. E. and Butterworth, D. S. : Low-AAV tuning, pelagic trial results, and the "optimality" of the Punt- Butterworth whale stock management procedure. Document: IWC/SC/43/O17 (1991).
- 4) Sakuramoto, K., Tanaka, S. and Tang, Z. : Results of the screening test of a modified whale stock management procedure. Document : IWC/SC/D90/M8 (1990).
- 5) 坂和正敏：ファジィ理論の基礎と応用、森北出版、東京、185pp. (1989).
- 6) 菅野道夫：ファジィ制御、日刊工業新聞社、東京、183pp. (1988).
- 7) 菅野道夫：資源管理方式コメント、鯨類資源の研究と管理（桜本和美・加藤秀弘・田中昌一編）、恒星社恒星閣、東京、（1991 年出版予定） .
- 8) 水本雅晴：ファジィ理論とその応用、サイエンス社、東京、359pp. (1988).
- 9) 向殿政男：ファジィ理論がわかる本、HBJ 出版局、東京、222pp. (1988).
- 10) 座談会” AI・ニューロ・ファジィ” 人口知能学会誌、Vol. 6 No. 4, 482-499 (1991).

メンバーシップ関数

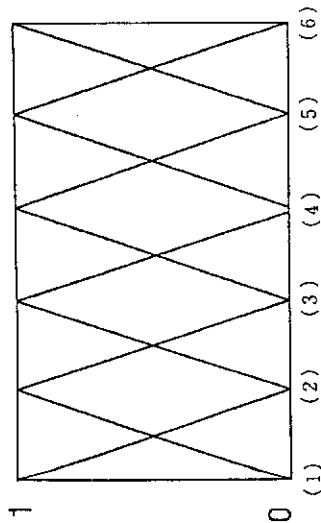
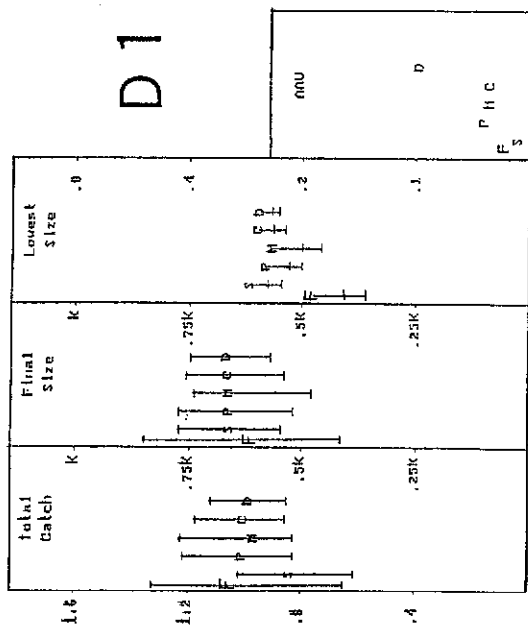
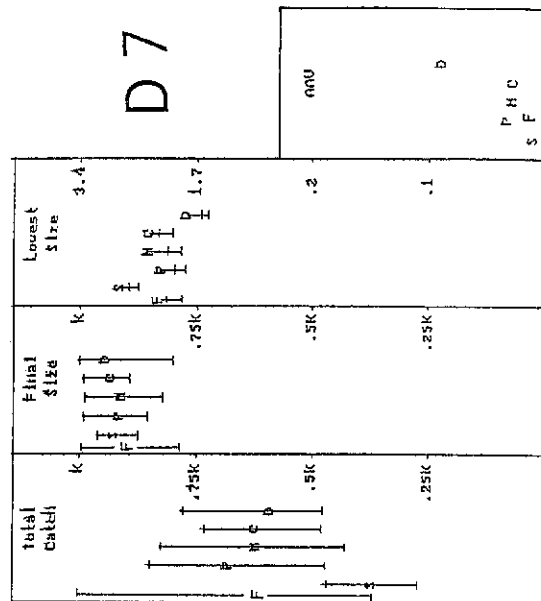
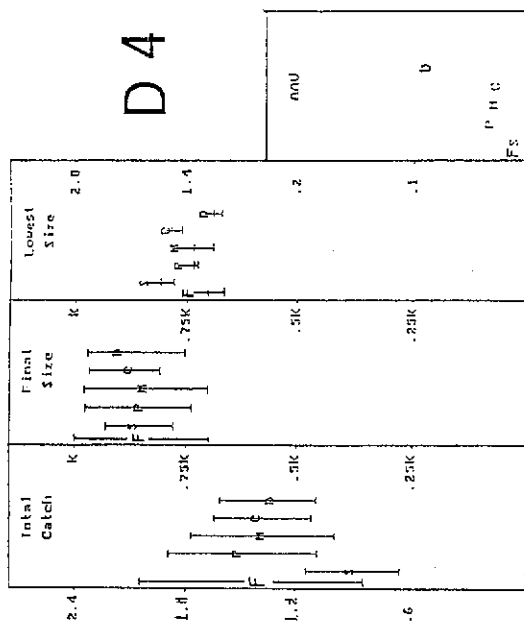


図1 ファジィ変数に対するメンバーシップ関数。X軸の数字はカテゴリーの番号を示す。変数X3であれば、現在の資源の状況が(1)非常に悪い(2)悪い(3)やや悪い(4)やや良い(5)良い(6)非常に良いに相当する。

図2 基本の7ケースに対するシミュレーション結果。Fはファジィ制御を応用した管理方式を、Sはモデル独立型管理方式を、P、M、C、Dはモデル依存型管理方式をそれぞれ示す。



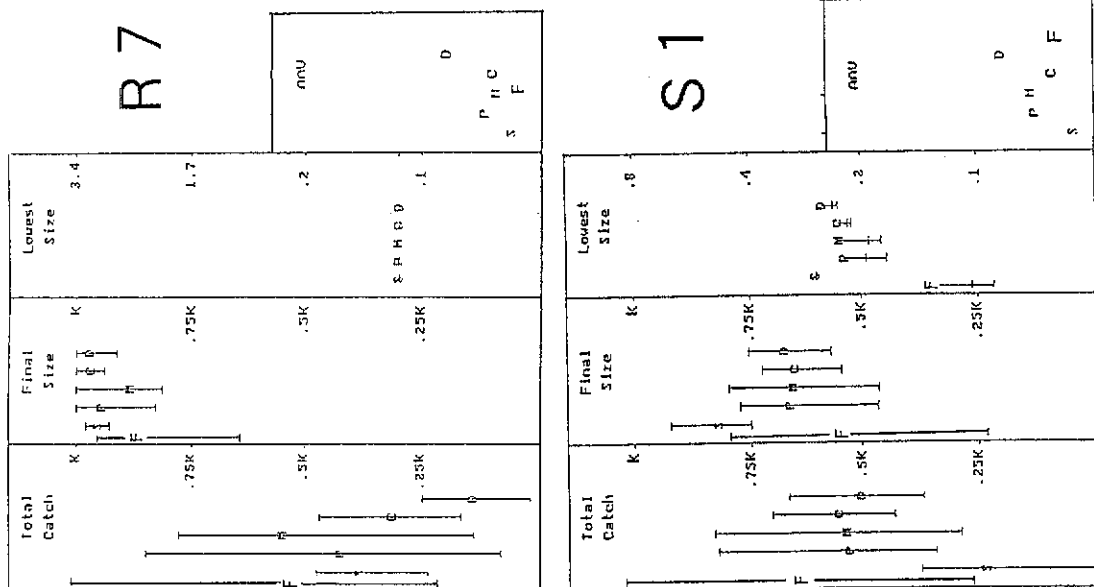
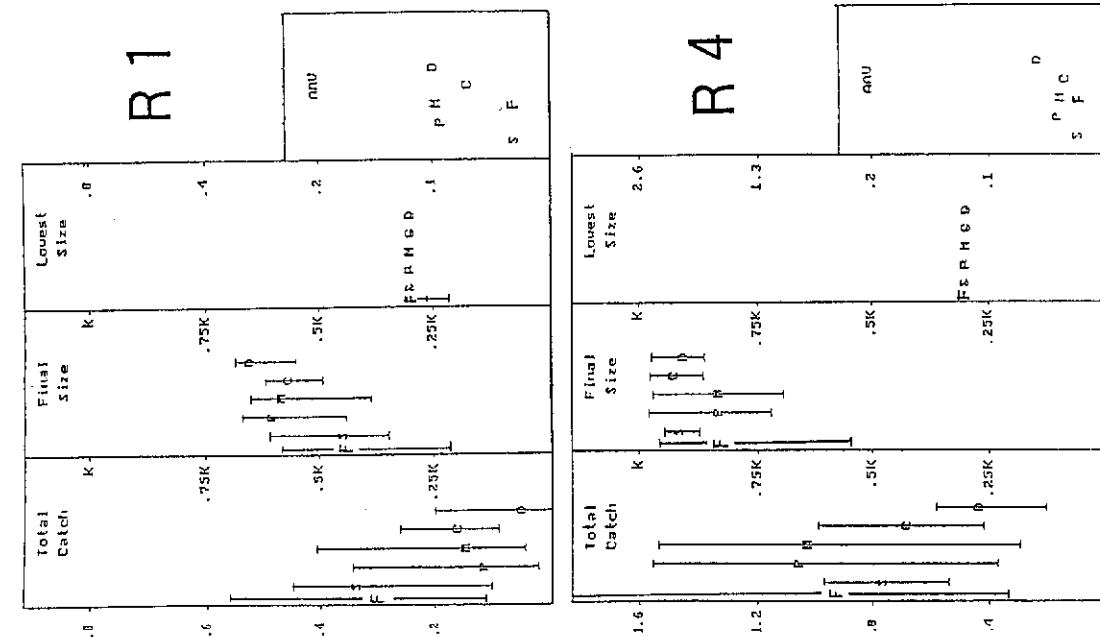


図2 (続き)
基本のケースに
対するシミュレー
ション結果。Fは
ワジイ制御を応
用した管理方式を、
Sはモデル独立型
管理方式を、P、
M、C、Dはモデル
依存型管理方式を
それぞれ示す。

水産資源とエキスパートシステム

青木一郎（東京大学海洋研究所）

1. はじめに

1990年度漁業白書によると、1989年の我が国の漁業生産量は1191万トで、世界全体の13%を占めている。高度に発達した、魚をとるハード的な機器・技術がその重要な基盤となっている。有限な資源に対して、将来にわたって漁業生物の合理的で安定した生産を図るためには、資源に関する種々の情報の適切な処理・利用を図るソフト的な情報処理技術の重要性が今後一層に増してこよう。そのキーワードはデータベース、コンピュータネットワーク、知的処理（A I、エキスパートシステム）となろう。

エキスパートシステムの目的は、経験と知識に基づく専門家の知的情報処理をコンピュータで実現することである。そして、数式と厳密な論理で計算するコンピュータではなく、人間が行っているような思考方法をコンピュータに真似させようという方法論に立っている。記号処理をベースとした狭い意味のA I、ファジー理論、ニューラルネットなどである。次世代のニューロコンピュータはいまいで論理化できない問題でも妥当な答を出してくれるという。専門家に限らず広く人間の知的処理を考える時は知識ベースシステムといわれるが、本文ではエキスパートシステムの言葉の使い方は両者を含めてあいまいに使っている。コンピュータでは難しいが賢明な読者にはそれでもよく意味は通じるはずである。

水産分野におけるエキスパートシステム開発の第一の意義は、他の産業分野と同じく、文字通り、数少ない貴重な優れた専門家と同等の（現実にはまだまだではあるが）判断を、コンピュータによって誰でもいつでも容易に得ることができるようになることである。2番目として、資源の予測や管理といった現実の問題にはエキスパートシステムアプローチが有効となることが少なくないのではないかということである。資源生産についての我々の知識はまだまだ不完全であいまい性を多く含むが、わかりませんといって逃げることはできず、不確実性を取り扱いながら問題解決を図ることが求められる。収集したデータが数値で表わされていても、生産の過程が数式で表わされるほどわかっていないし、実際のところ数式モデルで表わせるような論理性が本当にあるのだろうか。あいまいで、定性的で、 $1+1$ は2とは限らないような論理性も欠く問題を扱う方法論が意外といいかもしれない。

エキスパートシステムについての教科書的なことはむしろそれを読んでもらった方がよいと考えるので（例えば、文献¹⁻⁵⁾）、以下に本文では筆者らの漁況予測への試みの経過と考えを中心に述べていくことにする。

2. 漁況予測エキスパートシステム

漁況予測にエキスパートシステムの応用を試みた動機は次のようなことであった。

漁海況予報事業は1964年に始まりそれ以来多くの調査資料の蓄積、知識をうみだした。しかし残念ながら、値を入れたら答が求まるような“予測の公式”が示されているのはまれである。ここらでいままでのデータ、知識を整理し予測の公式化自体をめざすことも必要ではないか、一方、漁海況予測には資源解析学のような体系もない、そして実際

の予報は担当者の個人的努力と経験によるところが大きいという現実である。そこでは、人は少なく、異動も頻繁である。

このようなわけで、我々は、IF・THEN型のプロダクションシステム、ファジーシステム、ニューラルネットについてその有効性や問題点を検討してきた。以下に順次説明していくことにする。いずれも相模湾のカタクチイワシ、マイワシを対象に、パソコン上で動く市販のツールを用いて行った。詳細は論文を読んで頂くとして、ここではレフリー制の雑誌では書けないことを主として記すことにする。

①プロダクションシステム

知識を「もし（IF）～ならば（THEN）～」の一定の形式で表現し、この判断規則（ルール）を適用しながら推論を行う。ルールの例を図1に、推論のネットワークを図2に示す。産卵量、シラス漁、水温、黒潮流路などから、中間仮説である資源水準と来遊環境を判断し最終的に漁獲量を予測する2段階のツリー構造となっている。

ルールの抽出・作成は既往の文献、出版物、データ解析、専門家の話をもとに行った。これは、図1、2を見ると簡単なようだが、いい答を出すようにするには、データをいろいろな角度から眺め、いろいろと考えをめぐらし、そして試行錯誤を繰り返すことになる。確信度の設定も、いわれていること、考えられそうなことをもとに大体決めて、後はやはり試行錯誤である。結果的には大体で決めた値を少しくらい変えても結果は安定していた。やはりルールが重要である。

図3に結果を示す。上記の手順をへて、3段階の定性的表現であるがルール型表現で漁獲量の変化を再現できたと考えている。過去を再現できたからといって将来を予測できるとは限らないが、その検証はまだ行っていない。データが揃ったら行いたいと思っている。

プロダクションシステムの長所として、個々のルールはつくりやすくわかりやすい、追加や変更が容易である、推論メカニズムが簡単である、があげられる。ルールの数も少なく小規模であれば十分な能力をもつといわれる。一方、すべての知識をIF・THENで表わすには無理がある。したがって扱える知識に限りがある。知識量が大きくなり複雑な場合には構築は容易ではないと思われる。

②ファジーシステム

通常のプロダクションシステムではルールの中で使われる「多い」、「少ない」などの言語表現は、ある境界で区分される2値論理に依っている。連続量をそのように区分するよりも、境界がぼやけたファジー集合を用いた方が事実とルールのマッチングに柔軟性をもたせて推論することができる。これがファジー推論の利点である。

そこで①の知識ベースの基本はそのまま、前件部（IF）から結論部（THEN）の成立を評価したり結論の合成にファジー推論を導入した。別の漁期を対象としたが、ルールの形式や推論のネットワーク構造は図1、2と同様のものである。

ファジー集合ではそのメンバーシップ関数を決めることに任意性（主観）がはいる。これがファジーたるゆえんでもあるような気がするが、確率論や数学からするといいかげんなものとうつららしい。図4にファジー集合のメンバーシップ関数を示す。一番上の図にあるように、過去のデータを並べて、そして平均値や標準偏差を参考に部分集合のメンバーシップ関数の形（パラメータ）をきめた。この形を変えると結果も変わる可能性もあると思うが、あまりにもバリエーションが考えられ、それを逐一調べることは

できないので今回はこの形を変えることはしなかった。

ファジー推論には多くの方法が提案されているが、ここでは、ファジー制御で用いられるような簡単なmax-min法と高さ法⁷⁻⁹⁾と、①と同様にルールの確からしさを表わす確信度を併用したのになっている。また、ファジー制御では一段の推論に限られるが、中間でも脱ファジー化しその値と確信度を次の前件部の入力とするようにして図2と同様の2段階の推論を行う。

1978～87年のデータを与えて得た出力結果を図5に示す。81年が大きくはずれ、86、87年がもう一步で、あとはよい結果となった。先に述べたように、ここではメンバーシップ関数を変えて試すことはしなかったが、いろいろとルールと確信度を変えてやった。しかし図5と大差なく改良はみられなかった。

ファジー制御では操作量を得るため出力は脱ファジー化して数値となる。予測では必ずしも数値ではなく図3のようなものでもいいかもしれない。今回用いたツールでは、アルゴリズムが簡単なためと思われるが、ファジー集合の形が変化しながらではなく脱ファジー化して推論を進めたり、結論を得るようになっている。

ファジー集合を用いると通常のプロダクションシステムに比べてルール数が少なくすみ、ルールの記述も簡単になる。あいまいさゆえに観測値の誤差や欠落にも強い。プロダクションシステムの拡張版とみなすこともできよう。一方、多段階の推論を必要とする大規模複雑系に対してはその効果は未知数という¹⁾。すなわち、ファジー制御におけるファジー推論は一段階の推論に限定される。この方法は、ソフトウェアの実現はそれほど難しくなくかなり高速処理も可能であるが、それに対してもう少し広い範囲のファジー推論はソフトウェアによる実現という観点からみるとあまり進んでいないという¹⁾。

③ニューラルネット

専門家のアドバイス、文献収集、データ解析などからルールを抽出、作成し、それを吟味しながらよい結果を得るように知識ベースを作ることは多くの時間と労力を要する。これは知識獲得の問題としてエキスパートシステムの問題点の1つとしてあげられることでもあり、私たちも実感してきたことである。その解決の1つとして、データから自己組織的に妥当な解を出すニューラルネットを知識獲得と推論機構に利用することが考えられる。ニューラルネットの構築においては、対象とする事象を適当ないくつかの属性によって記述したデータ群を用意できることが前提となる。

相模湾の3-6月のマイワシの主要定置漁獲量を対象として、一般的な3層型バックプロパゲーション法を用いてニューラルネット解析を行った。用意するものは漁獲量に関係すると考えた属性集合である入力ユニットと出力ユニットのデータセットである。

(図6)。中間層(1層)ユニットの数は7個とした。学習の進行とともに実際の値に回帰していく様子を図7に示す。82～88年の漁獲量に対応するデータを学習に用い、その出力値を示し、89、90年はその学習したニューラルネットでは未知となるデータについて検証したものである。89年についての検証では学習の進行にともない実際の値に近づいていった。一方、90年については20%位の誤差のまま変らなかった。最目に見ると、少なくとも90年の減少が示されているのは偶然ではないような気がするのだが。

ユニット間の結合(関係の強さ)を表わすシナプス荷重は初期値として±0.3の範囲でランダムに設定されるが、学習が進むと中間ユニットのシナプス荷重は一部の入力ユ

ユニットに対して大きくなり特定の間ユニットでのその値のばらつきが大きくなる。この場合には中間ユニットの3個がそうなり、残り4個は初期値の範囲と全くかわらなかった。中間ユニットは入力パターンの情報を集約するものといわれる¹⁰⁾。試みに中間ユニットを3個に減らしても結果はかわらなかった。2個にするとかなり悪い結果となった。中間層をもう1層増やして24(入力) - 7(中間1) - 3(中間2) - 1(出力)個のユニット構造にすると学習が収束しなかった(できなかった)。中間ユニットの設定や学習のさせかたを決めるパラメータの設定が試行錯誤的になるが、今回の試みではあまりめんどろなことはなかった。精度を上げるにはドメインの知識をもとに入力値を前処理したりネットワークの構造化をすることが重要という¹¹⁾。

ニューラルネットの特徴は言葉で(数式はもちろん)表現しづらい論理あるいは論理はわからない、しかし学習のデータは揃えられるようなテーマを扱うことができることである。これが利点であると同時に弱点にもなる。すなわち、システム内はブラックボックスに近く、なぜそのような答がでたのか論理を追跡することができない。しかし、シナプス荷重を調べることによって要因の重要性を知ることができるので有効な示唆を得ることができる。図6は3つの中間ユニットと入力ユニットのシナプス荷重の大きさの一覧表である。道東、三陸の漁獲とはつながりがなく、福島から三重のより近い海域の漁獲と関係が最も強いこと、大島の水溫、野島崎からの黒潮流軸距離とやや関係があることが示されている。これらは妥当なものとして受け入れられる。一方、産卵量では薩南、シラスでは愛知、未成魚では東海西部のいずれも遠い海域の方がより関係があることには、いろいろ解釈ができ興味がひかれる。

④まとめ

以上漁況予測エキスパートシステムについていくつか試みてきた。個々の対象は同一ではないが、結論としては、漁海況予測にはニューラルネットを基本的枠組みとした利用が期待できると考えている。今後さらに事例を重ねていきたい。海況予測についてはふれなかったが、水溫や黒潮流路のデータのほうがよく揃っているのだから有効であろう。例えば、シラス漁況予測のための海況予測としてよい結果が得られている¹²⁾。魚体サイズ、来遊時期、場所も教師データとしての過去のデータを揃えられるならば可能である。数値データでも分類的数据でも扱えるので、場合によっては図3の様な出力を得たければそれも可能である。ユニット数が数百、数千となれば難しいが、少なければ個々のシナプス荷重を調べれば予測の論理が全くわからないわけでもないと思う。

ニューラルネットは階層的なネットワークによって任意の連続関数を任意の精度で近似することができるといわれ¹³⁾、また、多変量解析の非線形領域への拡張として利用できるともいわれている¹⁴⁾。エキスパートシステムの知識獲得という面からは、第3世代のAIツールの中の、データ群から知識生成する種類として分類されることもある¹⁵⁾。この仲間には決定木の学習がある。それは記号処理を対象とするがルールベースを自動生成し分類のためのツリー構造を示してくれる点でニューラルネットとは異なる利点をもつ。ルールやメンバーシップ関数をデータの統計解析によって得るツールもある¹⁶⁾。ファジーとニューラルネットの接近も進みつつあるようだ。個々のケース、目的に応じて他の手法の併用あるいは統合をはかることによって別の展開も可能であろう。

3. おわりに

7月の水産海洋学会で「漁況予測が当ればそれでいいのか」といったことが議論になった。その時に東水大の水口さんも述べていたが、私も、「では我々はすでに当る漁況予測を出すことにもう十分答えられているか」と思う。どうして増えたのか、減ったのか理屈をいうことも私たちの仕事の一つであるが、漁業からすれば漁況の見通しをまず答えられるようにすることがはじめではないだろうか。必要とあらばその不確実性のもとの漁業戦略の支援ができればいいことはない。それが水産技術である。とる技術、つくる技術、加工する技術はわかりやすい。生産における高次の戦略に当る資源の分野でも技術が期待されている。農学栄えて農業減ぶと同じことをいわれないように心したい。

本文では、はじめに漠然と資源の問題とエキスパートシステムについてふれたが具体的に資源診断、資源管理にはふれなかった。題目だおれとなったがご許ください。漁況予測の問題とは異なってくる点も多いかもしれない。この点は桜本さんに期待したい。

最後に、本文をまとめるにあたって別項の松田さんの感想文が大いに役立ちました。感謝します。

文献

- 1) 上野晴樹・小山照夫 共編(1988)エキスパートシステム、知識工学講座⑤、195pp、オーム社。
- 2) 上野晴樹・石塚満 共編(1987)知識の表現と利用、知識工学講座②、189pp、オーム社。
- 3) 水本雅晴(1988)ファジー理論とその応用、359pp、サイエンス社。
- 4) 中野馨・飯沼一元・ニューロンネットグループ・桐谷滋(1989)ニューロコンピュータ、318pp、技術評論社。
- 5) 中野馨 編著(1990)ニューロコンピュータの基礎、248pp、コロナ社。
- 6) 青木一郎・三谷勇(1991)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、水産海洋研究、55、1-8。
- 7) 伊藤修(1987)ファジーコントローラ、数理科学、No.284、55-62。
- 8) 伊藤修(1989)プロセス制御用ファジーコントローラとその応用、情報処理、30、942-947。
- 9) 馬野元秀(1989)ファジー集合論とソフトウェア、情報処理、30、922-930。
- 10) 平藤雅之(1990)ニューロコンピューティングとエキスパートシステム、システム農学、6、53-67。
- 11) 菊田泰代(1991)ニューロコンピュータの適用、水文・水資源研究のためのAI技術の利用に関する講座、122-130。
- 12) 小松輝久・青木一郎(準備中)ニューラルネットによる海況予測を主としたマシラス漁況予測、Fish. Oceanogr.
- 13) 麻生英樹(1989)ニューラルネットワークの数理的性質、人工知能学会誌、4、128-134。
- 14) 平藤雅之・小野良孝・小林恭(1988)ニューラルネットによる多変量解析とエキスパートシステム実現法、日本ソフトウェア科学会第5回大会論文集、113-116。
- 15) 山口高平(1988)分化し始めたAIツール、チューリングマシン、1、31-36。
- 16) 中村健(1991)知識獲得ツールとその利用法、チューリングマシン、4、89-97。

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)

図1 ルールの例^{*)}。カタクチイワシ1-2月期、CFは確信度、実際は日本語で記述される。

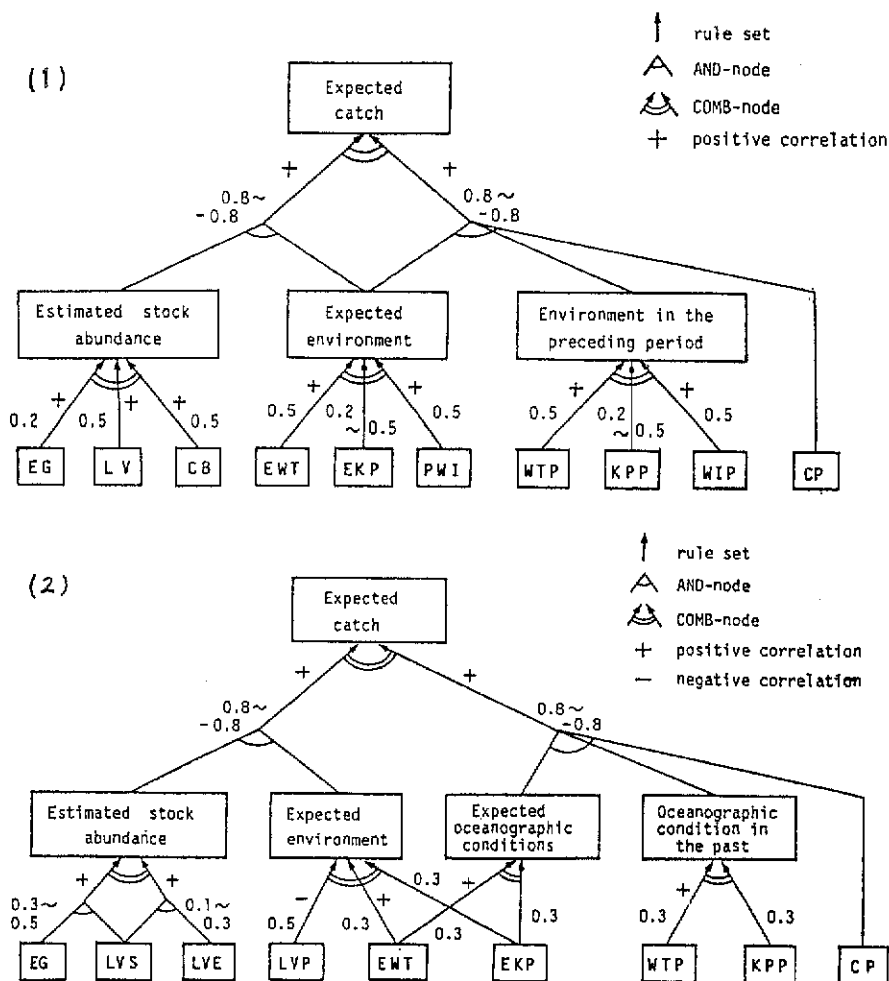


図2 推論ネットワーク^{*)}。(1) カタクチイワシ1-2月期、(2) 同9-10月期。矢印のそばの数字は確信度。

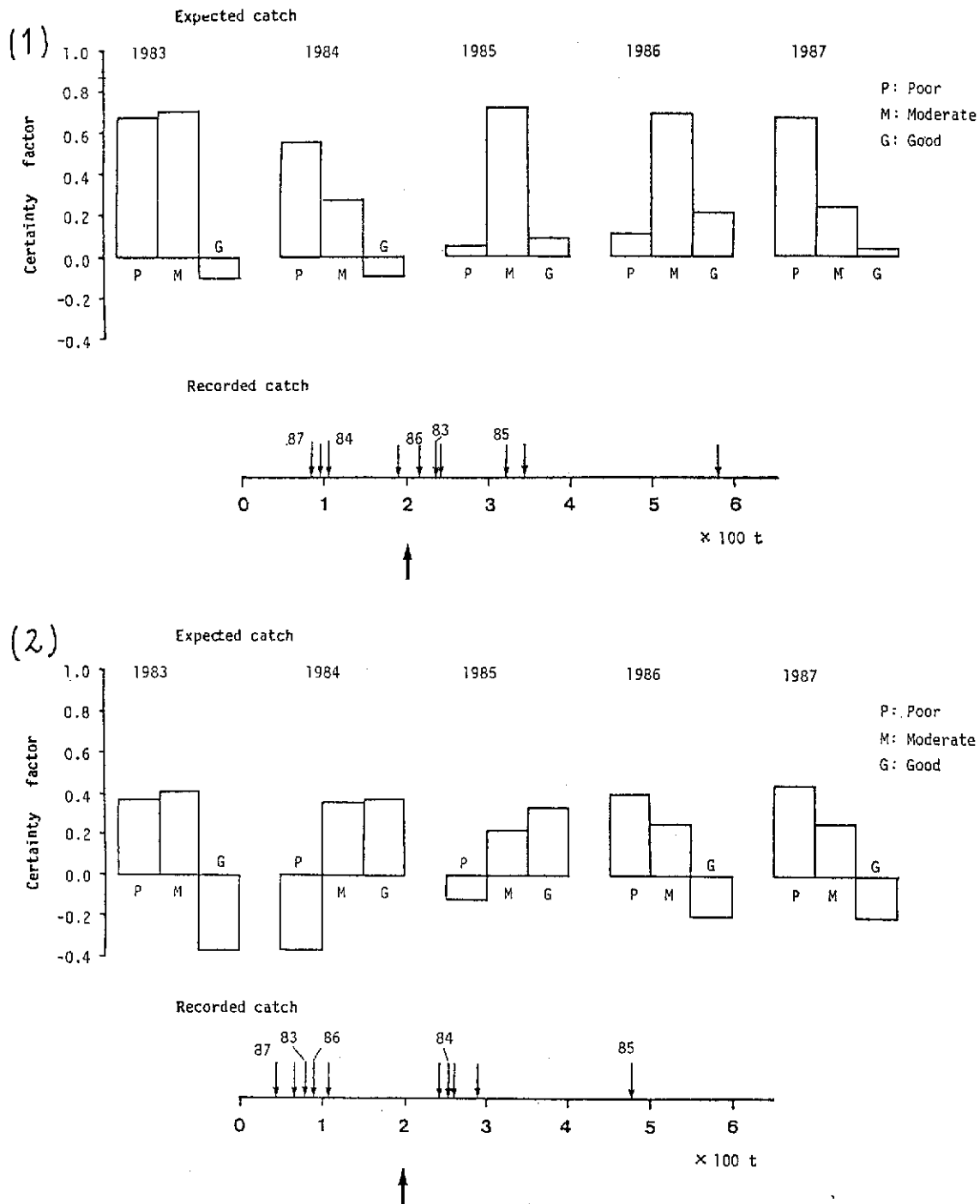


図3 1983～87年のデータによる推論結果⁸⁾。(1) 1～2月期、(2) 9～10月期。

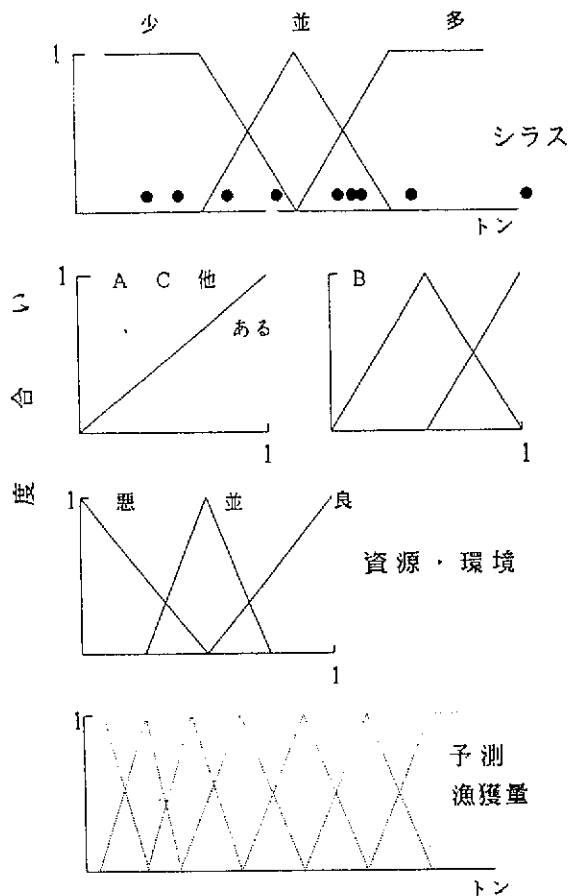


図4 メンバーシップ関数。

黒丸は1979～87年の実測値、A、B、Cは黒潮流路型。

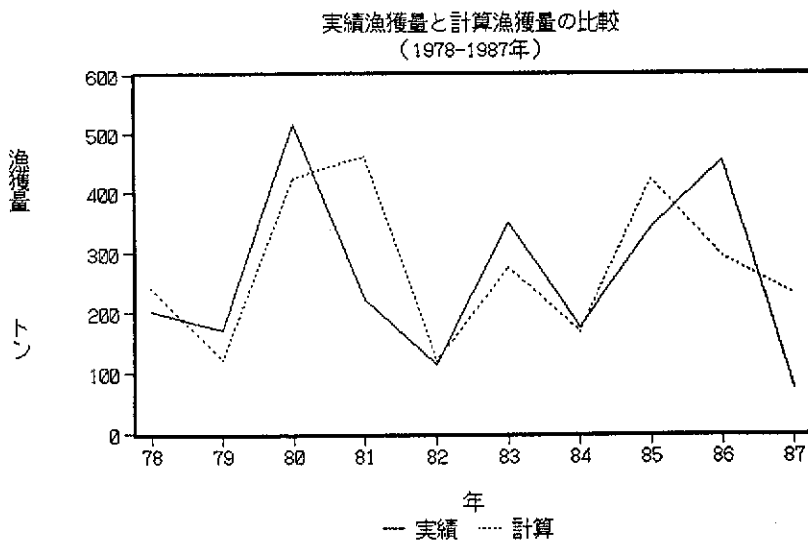


図5 1978～87年のデータによるファジー推論結果。カタクチイワシ、5～6月期。

入力層 ユニット	中間ユニットとのシナプス荷重		
	3	4	7
1 産卵量・東海（2～4年前）			
2 産卵量・関西（2～4年前）			
3 産卵量・薩南（2～4年前）			○
4 シラス・静岡（2～4年前）	△		△
5 シラス・愛知（2～4年前）	○		○
6 未成魚・東海（2～4年前）			△
7 未成魚・房総～常盤（2～4年前）			
8 北上群・青森～宮城（前年4～7月）			
9 北上群・福島～千葉（前年4～7月）	○	△	●
10 北上群・神奈川～三重（前年4～7月）	○	△	
11 道東（前年7～10月）			
12 南下群・青森～宮城（前年7～11月）			
13 南下群・福島～千葉（前年7～11月）	△	△	○
14 南下群・神奈川～三重（前年7～11月）	○	△	●
15 黒潮流路・A型		○	○
16 黒潮流路・B型			△
17 黒潮流路・C型			△
18 黒潮流路・D型			
19 黒潮流路・N型			
20 黒潮流路・W型			
21 黒潮流軸・御前崎			
22 黒潮流軸・石廊崎			△
23 黒潮流軸・野島崎	○		
24 水温・大島			○

シナプス荷重の絶対値
△ 0.5-0.75
○ 0.75-1.0
● 1.0-

図6 入力ユニットの定義および学習後の入力ユニットと中間ユニットのシナプス荷重の一覧。

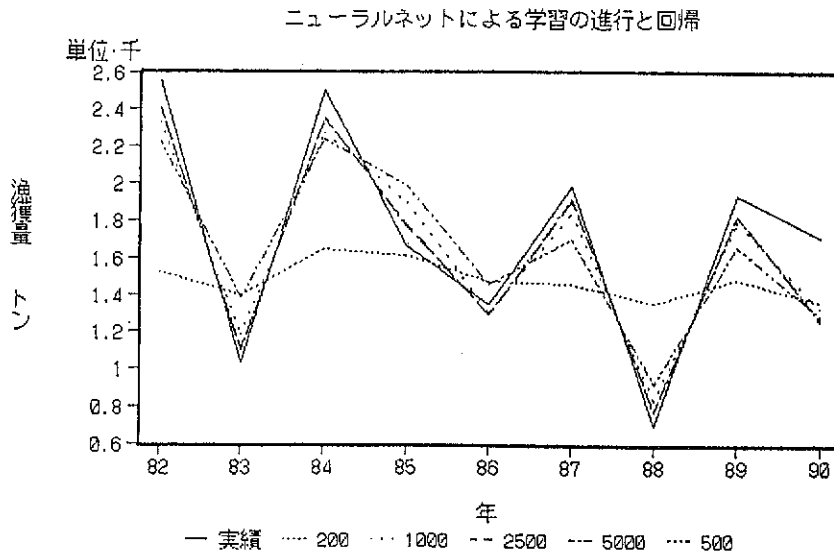


図7 ニューラルネットによる学習の進行と回帰。学習回数、200～5000。82～88年が学習データ、89～90年が未学習の検証データ。

編集者への手紙 ファジィに何を期待するか？

第4回資源管理談話会の講演を興味深く拝聴した。その場の討論で、田中昌一先生のコメントからは、ファジィというやり方に疑問を抱いている様子が感ぜられた。私は、水産研究所と水産試験場が進めている漁海況予報事業の将来の予測手法を考える上で、ニューロとファジィという二つの手法に期待している。具体的には、ニューラルネットは海況予報に、ファジィは漁況予報に応用できると考えている。そこで、これらの理論を応用することにより、予報手法がどのように変わりうるか、私が期待している根拠を、この場を借りて述べさせていただきたい。

青木先生のニューラルネットの講演では、相模湾という限定された地域での漁況予測に焦点が当てられていたが、この手法は、コンピュータが判断するための根拠となる基礎データさえ人間が集めてコンピュータに入力すれば、太平洋岸全体の予報にさえ利用できる可能性を秘めている。むしろ問題となるのは、コンピュータが予測を出す際の根拠がはっきりしないこと、予報がはずれた場合の原因が掴みにくい点が挙げられる。

現在の予報事業が「予測の神様」の経験的作業によって行われているとすれば、これらの欠点は現在の予報事業でも、すでに存在する。しかし、我々のなすべきことは、予報の根拠をできるだけ科学的に明らかにし、予報の科学的手法を確立することであって、「予測の神様」を人間からコンピュータにすぐ代えることではない。ニューラルネットやファジィは、今までのコンピュータのアルゴリズムより、より人間的なアルゴリズムをコンピュータに行わせる方法として開発されてきたものと思うが、それは科学的に解明するというアプローチとは必ずしも合致しないものである。

ではなぜ、これらの手法に期待するか？それは、人間の直観や経験で判断しているものを、より論理的な形で解明するのに役立つと思われるからである。講演の際青木先生は、「1990年に関しては、（ニューラルネットの）予測が外れた原因は不明である」と答えられたが、「予測が外れた」ということを明確にできたことは評価すべきであり、なぜ外れたかは、海洋学者や資源学者が真剣に考えれば、そしてコンピュータが予測に用いた各データの重み付けのパラメタの値を調べれば、分かってくるはずである。つまり、コンピュータは、特に予測が外れたときに、人間に考えを進める材料を与えるのである。

生態系モデルのシミュレーションにも言えることだが、どんな複雑な数式を並べても、相手を煙にまくことはできても、それだけでは科学的理解を深める役には立たない。しかし、コンピュータは人間が思いつきで考えた単純にして膨大な計算を不満も言わずに

計算して、すぐに結果を見せてくれるという便利な機械である。したがって、過去のデータのボタンから計算した予測と実際の海況の結果が合わなければ、それは人間の経験則の誤りも同時に発見し、その原因を人間が考える材料になるかもしれない。

海況予測の場合、最近の海況変動のボタンに最も近い過去の変動ボタンを見つけ、それになぞらえて将来を予測するというのが、海況予報手法の現状である。それなら、ニューラルネットでも十分にできるかもしれない。

漁況の方は、予報する内容が複雑（漁況予報は、単に資源水準だけを予測するわけではなく、来遊時期や、魚の体長にも言及する）であり、ニューラルネットで予測を試みても、コンピュータの中で何をやっているか、プログラムを開発した人自身にも皆目検討がつかなくなる恐れがある。漁況の予報には、ファジィ理論が期待できる。

なぜなら、本来、漁況予測は来年の漁獲量を数字で予測できるほどの精度をもっているとは思えない。科学の立場から言えば、分からないものは分からないとはっきり言うべきもので、たくさんの仮定を積み上げて「来年の漁獲量は何万トン」などと数字をひねり出しても、科学的にはあまり意味はない。むしろ、「来年は今年より資源水準が少し上向きだ」とか、「激減の恐れあり」などという定性的な予測で十分と考えられる。

それには、シミュレーションをするよりも、定性的なデータを集め、そこから定性的な判断をくだす手法の開発が望ましい。ある意味では、第1回の資源管理談話会のテーマであったフィードバック管理が、こうした発想を先取りしていた。つまり、資源の再生産関係をブラックボックスのまま放置しておいて、その上でMSYを徐々に達成する管理方策を考えていた。この方法は、水産資源学では特にきわめて有効と考えられるが、現在の資源量を既知のものと仮定し、来年の漁獲割当てを数値として提出する必要がある点で、予報事業とは性格が異なる。むしろ、鯨の資源管理は、フィードバック管理で十分であり、ファジィ理論を用いた方がなぜ有効なのか、私には理解できない。むしろ、資源量が正確に分からない点は鯨でも同じかも知れないので、たとえばCPU Eや目視観測のデータなどから資源量（未知）が確率分布として予測し、それを頼りに漁獲量（努力量）を決めて管理を行う、といった方法を考えることも可能である。

予報事業では、資源量も正確には掴めず、しかも実際の漁獲量は漁業者の裁量に任されているという特色をもっている。したがって、入力も定性的（不正確さを伴う）なデータで、出力も特に数値にこだわる必要はないという点で、実にファジィ理論向けである。ただ、（表向き）数値を用いなくても、言葉で論理的な予測を目指すところに意義があり、ファジィは差し当たり期待がもてる方法と思われる。

我々水産研究者は、コンピュータに考えて貰うためのデータ入力係になるつもりはない。あくまでも、予測をより科学的なものにするために研究し、予報事業を行うべきだと考える。

1991年7月25日 松田裕之（中央水研）