定置網漁獲量の GMDH による定量的予測

——定置水温から米神漁場のマアジ漁獲量を予測する——

岸　　道　郎
(東京大学海洋研究所)

Prediction of the catch at the set net using the GMDH,

——Prediction of the catch of Jack Mackerel at Komekami set net using sea surface temperatures——

Michio J. KISHI
(Ocean Research Institute, University of Tokyo)

Abstract

The daily catch of Jack Mackerel by Komekami set net (Sagami Bay, Pacific coast of central Japan) were predicted using GMDH (Group Method of Data Handling). It seems to be useful to introduce GMDH when we predict the catch by set net based on daily sea surface temperature along coast.

In the case of Komekami set net, the prediction is most successful when sea surface temperatures near Komekami (Misaki and Inatori) on the day before the prediction day and that of Miyake Is. on three days before the prediction day are used as the basic data for polynomial in GMDH.

1. はじめに

漁獲量の変化を海況（水温，塩分，黒潮や親潮の流路など）の変化と結びつけて考察する研究は，MATSUURA (1979)がブラジル沿岸に出現するマイワシと水温塩分の関係を述べたもの，曽・平野 (1979) が相模湾のゴマサバの漁獲量と黒潮流路について述べたもの，小川，中原 (1979)が日本海の漁獲と水温塩分の長期変動について述べたもの，など極めて数多く存在する。しかし，これらの研究はすべて，環境と資源量または漁獲量の関係についての現状分析であり，具体的に資源予測，漁獲予測の方法論を提案しているわけではない。

水温，塩分と漁獲量との関連を定量的に考察するには，たとえば水温と漁獲量との相関をとる方法があり，多種の環境因子のうちどの因子と漁獲量との関わりが深いかを定量的に考察するには，たとえば主成分分析などの方法がある。このような方法でどの環境因子と漁獲量との関わりが深いかがわかると，それらの因子を用いて漁獲量の予測ができるはずである。

ところで多くの因子と１つの出力との関係を関数として求める方法としては，フーリエ級数の和として表わす，ボルテラ核を求める，任意の直交関数の和として表わす，などの方法がある。GMDH (Group Method of Data Handling) は，IVAKHNENKO (1966) が提案した非線形関数を級数展開で求める簡便法である。

これを用いると，たとえば相関，主成分分析などで関わりがあることがわかっている環境因子と漁獲との関係を，具体的に同定することが可能である。従来，定性的議論の域を出なかった漁獲量の予想，資源量の予想を，GMDH という非線形関数同定の優れた方法を用いることによって，ある程度定量的に議論することが可能である。本稿ではその一例として，相模湾沿岸の水温，潮位から米神漁場のマアジの漁獲量の予測を試みた。

2. GMDH とは

近年，複雑で変数の多い生態システムや河川流量，大気汚染の予測等に用いられている GMDH (Group Method of Data Handling) は，IVAKHNENKO (1966) によって開発されたもので，

(a) 非常に多くの変数とパラメータが存在し
(b) 相互の関係が非線形で
(c) 原因と結果，入力と出力の関係を見出すことが原理的にも実際的にも不可能な

系を取り扱う一般的な方法である。従来は，ボルテラ級数や高次の多項式による非線形系の同定が行われてきたが，これには推定すべき係数やそのために必要なデータが莫大なものとなって困難を伴った。GMDH は

(a) 少ない入出力データで複雑な非線形系の同定，予測が可能
(b) 多変数のわりに計算量が少なくてすむ

という特徴がある。具体的なアルゴリズムはたとえば IVAKHNENKO (1971)，池田 (1980)，池田・樋木(1975) に詳しい。本稿でのアルゴリズムは付録に記す。

3. データの処理

ここで用いるデータは，1972 年と 1973 年の図 1 で示した千倉，小湊，三崎，平塚，稲取，大島，三宅島の毎日の表層水温と伊東港の満潮時の推算潮位を環境因子として考え，米神漁場のマアジの漁獲量を予測すべき対象と考えた。米神漁場のマアジ漁獲量を予測対象に選んだ理由は，米神漁場のマアジの漁獲量は相模湾の水温の影響を受けやすいと考えられている（木幡，私信）からである。また，1972年，1973年は黒潮の大蛇行が存在しなかった年であり，考察もしやすいと考えた。

さて，まず上記の環境因子とマアジの漁獲量との関連を相関をとることにより調べる。その際，予測しようとする前日から 5 日前までの水温との関連を調べ，関係の深いものから10個を選んで，級数に展開する基礎データとする。米神漁場のマアジ漁獲量と相関の深いもの10個を表 1 に示した。

さて，表 1 に示したデータを用いて，付録 (1) 式の級数の係数を定めるのであるが，係数の決定には 1972 年のデータを用い，求められた係数を用いて実際に観測値を展開し，予測値と実測値を比較するのは 1973 年のものである。なお，漁獲量は自然対数をとってあり，漁獲のない日は 0 としてある。また，水温の欠測日のデータは前後から内挿し，休漁日（日曜と祭日）の漁獲も前後から内挿している。

また，級数展開をする前に，すべてデータは平均 0 分散 1 になるよう標準化する（結果の図は，またもとに戻した尺度で書いてある）。

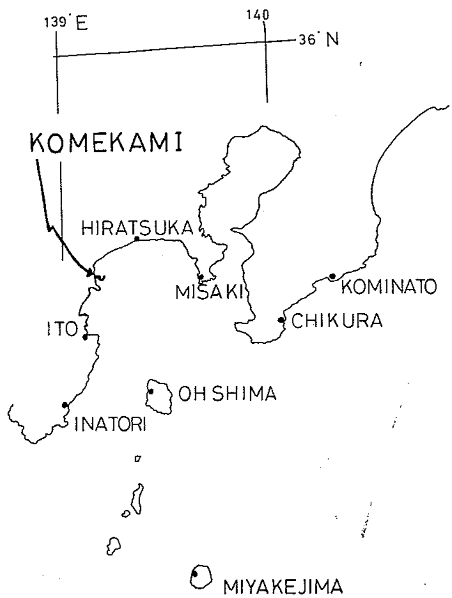


Fig. 1. Schematic view of Sagami Bay.

Table 1. Input data for GMDH. ○ indicates the selected data in GMDH.

	Input data	Apr.	May	Jun.
1	catch of Jack Mackerel at Komekami, the day before prediction day			○
2	forecasted sea level at Ito	○		
3	sea surface temperature at Chikura the day before p.d.			
4	s.s.t. at Misaki, the day before p.d.	○		○
5	s.s.t. at Inatori, the day before p.d.	○	○	○
6	s.s.t. at Inatori, two days before p.d.	○		
7	s.s.t. at Ohshima, two days before p.d.			
8	s.s.t. at Ohshima, three days before p.d.			
9	s.s.t. at Ohshima, four days before p.d.		○	
10	s.s.t. at Miyakejima three days before p.d.			○

4. 結果と考察

ここでは，マアジの漁期である4月，5月，6月について計算した。GMDH では表1に示したデータを入力すると，さらに最適のデータが選択され，数少ないデータのみを用いて級数展開が行われる。実際に GMDH 内部で選択されたデータは○印で示してある。

4月については，図2で示すように予測値が実際の漁獲量よりも1ないし2日早くなっているが，月初めの2, 3日を除けば全体の変化傾向は良く一致している。1ないし2日のずれの原因としては，予測に用いたデータが表1に示したように周囲の沿岸の前日までの水温が主であることから，級数展開の係数を決めた 1972 年4月には，三崎，稲取の水温の変化の影響が米神漁場の漁獲量に 1~2 日で反影されていたのに対し，1973年4月には 2~4日かかってその影響が出たためではないかと考えられる。

5月については，図3で示すとおり予測が当たっているとは言い難い。表1で示すように選択されたデータが2つだけなのは，級数展開が1回しか行われなかったことを示している。もともと，5月は水温の変動が大きい時期であるのも，水温のみから漁獲量を予測しにくい原因の1つであろう。

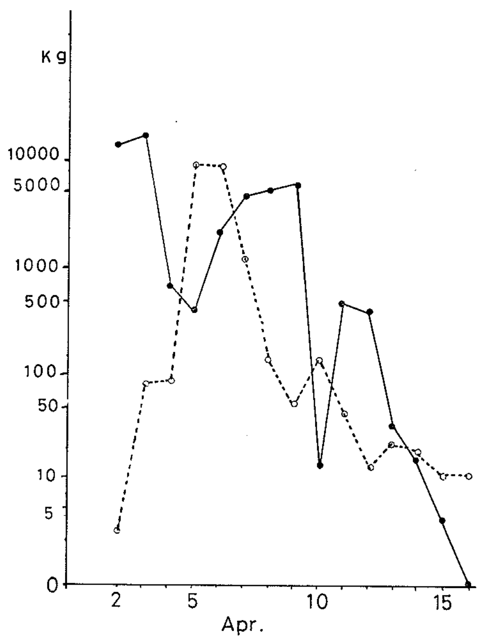


Fig. 2. Catch of Jack Mackerel at Komekami in April of 1973.
—— observation ······ prediction

6月については，図4で示すとおり，予測値はかなりよく実際の漁況に符合している。これは，6月には漁獲の絶対量が少なく，水温の変動が小さいにもかかわらず，わずかな水温変化が漁獲量に敏感に影響していることを示すと考えられる。

4，5，6 月の予測でもう1点注目したいのは，いずれの月の予測にも千倉の水温が使用されなかった点である。このことから，これらの時期では，米神漁場のマアジの漁獲量に房総沿岸の水温は影響しないと思われる。

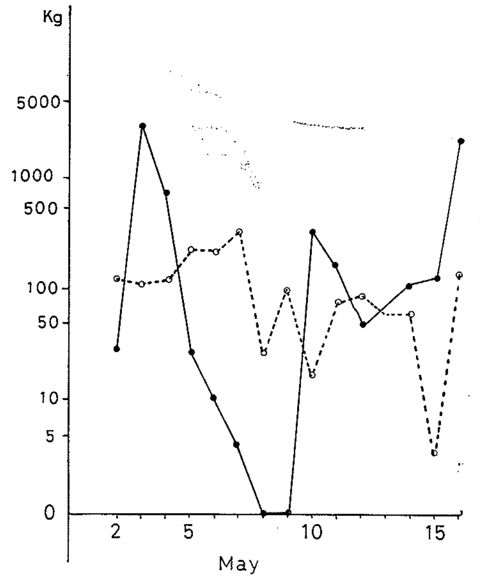


Fig. 3. Same as Fig. 2 except in May.

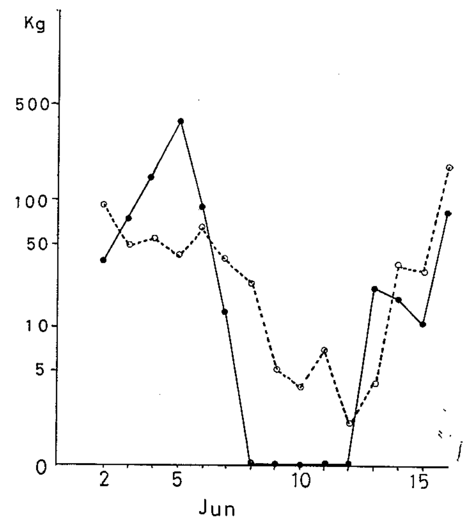


Fig. 4. Same as Fig. 2 except in June.

総合してみると，予測の適合度は，その絶対値からみてあまりよくないが，（なぜなら，たて軸は対数尺度になっている。）少数点での水温，潮位のみからの予測にしてはよく予報できており，予測の方法として有効であることを示していると評価してよい。予測の精度を高めるためには水温の日ごとの偏差や，黒潮の流入を表わす指標として大島と千倉の水温差をデータとして導入するとよいかもしれない（岩田…私信）。また，予報としてはせめて週単位，月単位の予測値が必要であろうが，そのためには広範囲の海況のデータ，漁況のデータを入力する必要もある。これらの点は今後の課題としたい。

5. まとめ

GMDH を漁獲量の予報に用いるのは，かなり有効な手段と思われる。今後は上述のように，どのような環境要因を入力データとすべきか，どのような魚種に有効か，予測期間をどのくらい長期にできるか，級数展開の関数としてはどのようなものがよいか，などについて検討したいと考えている。

6. 謝辞

水温のデータを提供された岩田静夫氏（神奈川県水産試験場）と漁獲のデータを提供された木幡孜氏（神奈川県水産試験場小田原分場）に深く感謝します。また，GMDH について多くの助言を提供された関口隆教授（横浜国立大学工学部）に深く感謝いたします。

引用文献

池田三郎 (1980) GMDH の基礎と応用—II．システムと制御，**24**，46-54.

池田三郎，槌木義一 (1975) GMDH（発見的自己組織化法）と複雑な系の同定．計測と制御，**14**，185-195.

IVAKHNENKO, A. G (1966) The Group Method of Data Handling, A rival of the method of stochastic approximation. Soviet Automatic Control, **13**, 43-55.

IVAKHNENKO, A. G. (1971) Polynomial theory of complex systems. IEEE Trans., SMC1, 364-378.

MATSUURA, Y. (1979) Distribution and abundance of eggs and larval of the Brazilian Sardine, *Sardinella brasiliences*, during 1974-75 and 1975-76 seasons. Bull. Jap. Fish. Oceanogr., **34**, 1-12.

小川嘉彦，中原民男 (1979) 浮魚類における卓越種の交替—II．水産海洋研究会報，**35**，1-13.

ROY, R. J. (1967) A learning technique for Volterna series representation. IEEE Trans., Automatic Control, **12**, 761-764.

曽 萬年，平野敏行 (1979) 相模湾におけるサバ類の生活実態と環境の関係—II．水産海洋研究会報，**34**，1-12.

付録 GMDH のアルゴリズムの概要

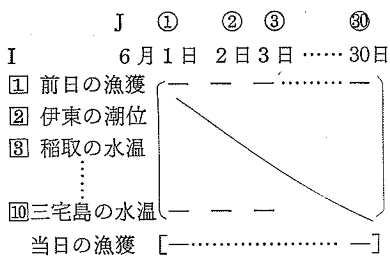
GMDH の級数展開のための基礎関数としては，理論的には展開できることがわかっている直交関数であれば何でもよいが，本稿では基礎関数として，Kolmogorov-Gabor の多項式（ROY, 1967）

$$y=a_0+\sum_i a_ix_i+\sum_i\sum_j a_{ij}x_ix_j+\sum_i\sum_j\sum_k a_{ijk}x_ix_jx_k+\cdots \qquad (1)$$

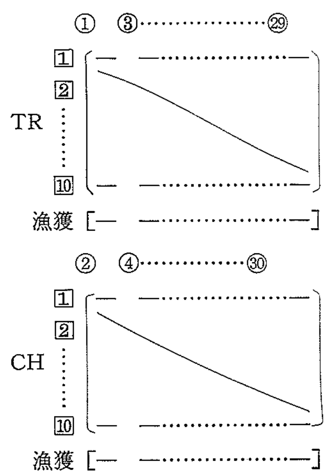
を用いる。この場合，中間変数 z_k として

$$z_k=a_0+a_1x_i+a_2x_j+a_3x_ix_j+a_4x_i^2+a_5x_j^2 \qquad (2)$$

を導入すればよい。最初の操作で xi には水温などの環境因子を変数として代入し，z_k が漁獲量に近づくよう a_0～a_5 を定める。この係数 a_0～a_5 と中間変数 z_k を再び (2) 式の右辺の x_i に代入して次の中間変数をまた求める，という操作をくり返し行うわけである。これを具体的に行列式で表わすと下のようになる。



(1)左図のように配列する。
(2)データを正規化する。（平均=0，分散=1）



(3)左図のように training data (TR) と checking data (CH) に分ける。

(4) TR について

$$z_{12}=a_0+a_1\boxed{1}+a_2\boxed{2}+a_3\boxed{1}^2+a_4\boxed{2}^2+a_5\boxed{1}\boxed{2} \quad (3)$$

を ①③…㉙ まで15回計算し，z_{12} と漁獲との相関が最大になるよう最小二乗法で a_0～a_5 を求める。z_{ij} を同様に $\boxed{1}\boxed{3}$，$\boxed{1}\boxed{4}$，……，$\boxed{9}\boxed{10}$ の45の組合せについて求める。

(5) (4) で求めた45通りの a_0～a_5 の組を用いて，CH の $\boxed{1}$～$\boxed{10}$ を用いて (3) 式の計算を行い，漁獲との相関のよいものから順に10組の z_{ij}を中間変数として選び，TR と CH に入れなおす。

(6) (4) (5) の操作を漁獲と z_{ij} の相関が最大になるまでくり返す。

(7) こうして求めた級数展開を，次年の6月1日からの観測値に適用して，漁獲量を予測する。