

(26) ニューラルネットワークによるエゾアワビの生息環境評価に関する研究

Assessment of Coastal Environments for *Abalone* Using Artificial Neural Network

松原 雄平*・野田 英明*・市村 康**
Yuhei Matsubara, Hideaki Noda and Yasushi Ichimura]

* 鳥取大学工学部土木工学科, 鳥取市湖山町南4丁目101

** 日本ミクニヤ株式会社, 川崎市高津区久地486

Keywords : *Environmental Impact Assessment, Neural Network, Shallow Water Habitats*

Abstract

Coastal reefs or sea glass zone are important refuges for many species, especially where other structural habitats are absent. Along the coastal zone near of kesen-numa city, Miyagi prefecture, many good shallow water habitats are distributed. However little has been done to examine ecological functions of coastal habitats and to analyze the role in the coastal ecosystem based on field observational data. In this paper an evaluation system of coastal environments for abalone are proposed using the network of artificial neurons, usually called an artificial neural network. Many of the physical and ecological on-site data are collected as initial input. As the verification of the estimation results of the network, the final outputs from the network are compared with data that were observed in the previous actual works. Also the sensitivity analysis is performed to determine the important conditions that control the environmental change. A successfully trained neural networks are set up and its usefulness are verified. Using this neural network system, inexperienced engineers can find out the optimum sets of the environmental conditions to be adopted. Furthermore a successfully trained neural network can be used to find the most important configuration that strongly affect the environmental change.

1. はじめに

東京湾、大阪湾など、わが国の大都市近郊の沿岸域は、この数十年来大規模な開発が進められ、赤潮や青潮の発生が見られたり生物生産にも大きな変化が見られる。こうした沿岸域での開発インパクトによって生じる生態系変化を予測したり、その保全あるいは再生への方途を検討する際には、生態系環境の客観的かつ定量的評価法の確立が必要不可欠となる。従来、生態系環境評価については、物理的因子や生物的因子などの構成要素数が多大であること、またそれらの構成因子が互いに複雑に関連し合い、その構造が不明であることなどの理由から、実用的評価手法の確立には多くの困難が指摘されてきた。中村(1992)は物理的要因や生物学的要因を数段階にランキングすることによって、生態系の構成因子間の関係を明解に説明できる実用的な評価手法として環境要因評価法を提案した。この方法では、評価対象因子の代表量(個体数など)を目的変数とし、複数の環境要因を説明変数にとり、すべての変数を大中小の3段階に区分する。例えば目的変

数を大とする条件について検討したい場合は、目的変数が大となるときに共通する環境因子を抽出して、個々の因子の効果を他の因子の影響も勘案しつつ考察するというものである。しかし、対象事象の構成因子数が多岐にわたる場合は支配因子の抽出と総合的判断は容易でなく、何よりも定量的な因果関係については、この方法では明らかにできないことなど、なお検討すべき余地が残されている。そこで本研究では、人間の情報処理プロセスを模倣した認識手法として注目されているニューラルネットワークを導入することで生態系に対する支配的環境因子を抽出し、かつ因子間の相互の相関を定量的に評価する方法を提案するものである(白木ら, 1991)。特にここでは、エゾアワビ(*abalone* 以下アワビ)の生息環境調査データをもとに、ニューラルネットワークでアワビの棲息に好ましい環境条件を明らかにすること、ならびに環境要因評価法との差異を明らかにするものである。すでに岩瀬ら(1993)ならびに著者らの一部は、この問題を検討しているが、ここではさらに詳細に検討した

結果を示す(松原ら, 1995)。

2. ニューラルネットワークの構築

2.1 階層型ネットワークと教師データ

ニューラルネットワークの構築には階層型ネットワークを採用した。ネットワークの構造は、入出力層を含めて3層(中間層1層)および4層(中間層2層)の2形態のネットワークで中間層細胞を5~40の間で変えながら、最適ネットワーク構造を調べた。ニューラルネットワークによる環境評価システムを構築するには、ネットワークの入力データとしての生物環境・物理環境調査データと、それに基づいて評価された環境評価値とのセットが必要となる。本解析で利用したデータは、全国沿岸漁業振興開発協会によって行われた宮城県沿岸部の漁場調査データである(宮城県, 1992)。この海域はリアス式海岸で、複雑な海岸形状を有して海底には転石が多く見られる。海藻群落も存在し海域内にはアワビの漁場も存在する。

環境調査データは、対象海域内の51地点で岸から離岸200mまでの間を、幅 2mでライン調査を行った結果である。アワビ、ウニ類の分布密度および各種海藻類の繁茂状況などに関する生物環境データと、海底特性(水深、起伏、基質および転石など)を調べた物理環境データとから成っている。解析に使用した調査データは51ラインであるが、このうち45ラインのデータを学習用データとし、残りの未学習の6ラインのデータをニューラルネットワークの検証用データとした。上記の45ラインの環境データを説明変数とし、アワビの生息個体数を目的変数として、ニューラルネットに学習させ、アワビ生息地の好適度を推定するシステムの構築を目標とした。すなわちアワビ個体数が棲息環境の適、不適を示す指標として、環境条件との関係を調べた。観測された実際のアワビ個体数とネットワークの推定値を比較し、その結果に基づき重みを調整してフィードバックされるルーチンが学習と過程となる。

学習回数と誤差の関係をネットワーク上で追跡すると学習回数が1000回以上から学習回数の増大とともに誤差が急速に減少し、学習回数が3000回を越えて誤差の低減率が低くなり、学習回数の進行と共に収束した。誤差を低下させるためのシナプス結合荷重の調整法は、バックプロパゲーション法を使用した。正解値である教師データと出力値との誤差は、出力層からの結果と教師データとの差の2乗平均で求めた。これは、出力層の細胞数を n とし、出力細胞の出力を y_i 、教師データ t_i とすれば、
二乗平均誤差 $= (\sum (y_i - t_i)^2 / n)^{1/2}$
で表される。本研究では、5000回の学習回数に達した段階でネットワークが完成されたものとして学習を終了させた。

2.2 教師データ

Table-1は、ネットワークの構築に使用した環境因子の数値ならびに評価ランク、いわゆる教師データを示したものである。Table中の各数値は、各ライン調査結果から直接読み取った値であり、AからCのランクで示されているものについては、岩瀬ら(1993)の結果を参照している。すなわち、海域類型ランクA、BおよびCは、それぞれ外海域、外海と内海の中間海域および内海域を示し、転石の状況についてはランクAが岩、Bが転石が密に分布ならびにCは疎に転石あり、あるいは転石なしを示す。また好きな海草の有無については、ランクAがコンブ類(*Laminariaceae*)、ランクBが紅藻類(*Rhodophycophyta*)、ランクCがフクリンアミジ(*Dilophus olamurai Dawson*)および海藻無しを示し、一方、嫌いな海藻の有無については、Aが有用海草、Bが海草無し、Cがフクリンアミジを示している。このうち、コンブ類ならびにフクリンアミジの海藻は、褐藻植物(*Phaeophycophyta*)に属し、褐色の色素体を持っている。フクリンアミジは、高さ10~20cm、幅0.3~1cmで糸のように伸びた根で岩につく。コンブと異なり、フクリンアミジの繁茂する場所にはアワビは生息しないことから、アワビの忌避する種とされている。一方、コンブ類はアワビの餌料でもあり、わが国周辺海域に広く分布するが、とくに寒海に大型の種類が多く、長さ10~20mに達する場合もある。紅藻類は、紅色または暗紅色の藻類で、大きさは数mmのものから数十cmまで分布する。砂地からの距離について無記入は砂地が無いことを示している。

3. ニューラルネットワークの検証および感度解析

3.1 ニューラルネットワークの認識率

評価システムを構築する際に重要なことは、検証用の環境データをもとにネットワークがアワビの棲息環境を正しく、かつ定量的に評価できるかという点である。そこで学習を終えた後、検証用の未学習データに対してニューラルネットワークが推定する個体数と実際の個体数とを比較し、ネットワークの推定精度を検証した。この結果については、前報(松原, 1994)にも示したが、中間層数ならびに細胞数の変化が推定精度に大きく影響を及ぼすとともに正解率を変えることがわかった。階層数を3層と4層のモデルに対して、中間層細胞を5~40範囲で変化させたところ、ニューラルネットの推定精度は、階層数が3層の場合は、誤差の収束も悪くネットワークの正解率が33%~66%程度となった。一方、4層モデルでは、6ケースの検証データに対して、正解率は50%から100%まで向上することがわかった。とくに中間層2層で中間細胞数を各層10とした場合が最も精度が良いことがわかった。そこでこの4層モデルで以降の検討をおこなった。

Table. 1 教師データ

No.	地点 番号	エゾアワビの 固体数		離岸 距離	海域 類型	平均 水深	勾配	転石 の 状態	砂地 からの 距離	好きな 海藻の 有無	嫌いな 海藻の 有無	海藻境界線 からの 距離
		固体数	階級									
1	12	26	A	15	A	6.1	0.62	B	—	A	A	14
2	25	21	A	5	A	1.4	0.28	B	—	A	A	163
3	12	20	A	35	A	15.6	0.16	B	—	A	A	6
4	25	18	A	155	A	4.6	0.19	B	—	A	A	14
5	26	17	A	15	A	10.3	0.02	B	—	A	A	15
6	5	16	A	45	A	4.6	0.14	B	—	B	A	44
7	37	16	A	185	B	5.8	0.04	B	—	C	B	-17
8	37	15	A	145	B	4.3	0.05	B	33	A	A	23
9	37	15	A	195	B	5.9	0.02	B	83	C	B	-27
10	5	13	A	135	A	5.1	0.16	B	—	C	B	-46
11	25	13	A	85	A	3.7	0.17	B	—	A	A	84
12	26	13	A	5	A	5.0	0.90	B	—	A	A	25
13	18	11	A	105	B	3.8	-0.07	B	—	A	A	85
14	5	10	A	125	A	6.8	-0.02	B	—	C	B	-36
15	12	10	A	5	A	1.5	0.28	B	—	A	A	24
16	1	2	B	115	B	7.5	0.08	B	45	C	B	-68
17	6	2	B	15	A	4.1	0.22	C	—	B	A	33
18	7	2	B	95	A	7.2	0.08	B	—	C	B	-26
19	8	2	B	175	A	15.5	0.10	C	—	C	B	-147
20	11	2	B	105	A	12.1	0.08	B	—	C	B	-57
21	26	2	B	35	A	11.6	0.08	C	—	B	A	-5
22	30	2	B	55	B	2.5	0.04	C	0	B	A	-33
23	41	2	B	95	B	6.9	0.08	B	73	C	C	13
24	3	1	B	15	B	7.2	0.36	B	—	C	B	-3
25	23	1	B	75	A	7.0	0.00	C	—	A	A	73
26	32	1	B	65	B	2.6	0.08	B	—	A	A	64
27	35	1	B	125	B	6.0	0.00	B	—	C	B	-17
28	43	1	B	5	B	1.1	0.22	B	—	B	A	101
29	45	1	B	65	B	4.0	0.03	B	7	C	C	22
30	48	1	B	85	B	12.0	0.00	C	0	C	B	-38
31	2	0	C	75	B	15.5	0.10	C	—	A	C	45
32	4	0	C	5	A	2.6	0.52	C	—	A	C	63
33	6	0	C	125	A	17.8	0.30	A	—	C	C	77
34	8	0	C	115	B	11.8	0.12	C	—	A	A	87
35	14	0	C	135	C	12.8	0.00	C	—	C	A	46
36	16	0	C	145	B	16.4	0.24	C	—	A	C	77
37	18	0	C	75	B	4.8	0.00	C	—	C	C	115
38	22	0	C	135	B	6.8	0.12	C	—	A	B	-6
39	1	0	C	165	B	12.2	0.18	C	0	C	B	-116
40	10	0	C	115	A	9.5	0.11	B	—	B	C	-9
41	15	0	C	65	A	10.9	0.00	C	0	B	C	-37
42	20	0	C	155	B	7.5	0.01	C	—	B	C	-26
43	30	0	C	115	C	2.4	-0.10	C	0	B	C	-33
44	35	0	C	175	B	7.2	0.06	B	—	B	C	-67
45	40	0	C	55	B	9.2	0.07	B	5	C	C	-5

3.2 感度解析

最終的に最も認識率の良い4層モデルのネットワークにおいて各因子が出力に与える影響を以下の感度解析によって調べた。

1) 出力がAランクとなる教師データの各要因の平均値を算出して、その環境要因の代表値とする。

2) 説明変数のうち、特定の因子飲みの影響を調べたいとき、その因子のみを漸次変化させ他の因子は代表値に固定したまま、ニューラルネットワークに入力しアワビの推定個体数の変化を調べる。

いかでは、アワビの個体数に影響を与える因子として離岸距離、転石状況、有害海藻、海域類型、棲息水深および砂地からの距離の6因子を対象として解析した。

Fig. 1はランクAとCにおよぼす離岸距離の影響を示しており、離岸距離が40mを超えると、徐々にランクAの値が大きくなることから、離岸距離が大きいほどアワビの生息環境として良いことを示している。

Fig. 2は海底の転石の状態がランクAとCに与える影響を表したものである。横軸は粗に小さな転石があれば1、0.5で密な転石、0で岩礁部を示している。これより横軸が1付近でランクCが大きく、転石から岩礁部になるにつれてランクAが卓越していることから、海域に小さな転石が無い方が生息条件としては適していることになる。生態学的には、小さな転石が無い方が棲息地としては好ましいとされており、ニューラルネットワークの推定結果と一致している。

Fig. 3はランクAとCにおよぼす嫌いな海藻の有無(フクリンアミジ)の影響を表したものである。横軸はフクリンアミジが生息すれば1、全く存在しない海域で0となる。これより横軸で1に近づくにつれてランクCの値が急増し、アワビ生息地としてはフクリンアミジが生息しない地域がよいことを示し、生態学的にも一致している。

Fig. 4は、海域類型と生息ランキングBとCとの関係を示したものである。横軸が3,2および1と減少するにつれて内海域、外海との中間海域および外海となることを示しているが、相対的に内海域でランクCが高くランクBが低く、かつ外海域に向かってランクCが低下する結果となっている。これより内海域はアワビの棲息に不適で、実測結果と一致しているが、中間海域でさらにランクCが大きく現れており、実測と一致していない。この原因については不明である。この結果を前出のFig.1の結果と合わせると、外海域がより望ましい棲息域と考えるべきであろう。

Fig. 5およびFig. 6の結果は、同様に棲息平均水深ならびに砂地からの距離が棲息ランクBおよびCに与える影響を調べたものである。まず平均水深の影響をみると、水深が減少するほどランクCの値が小さくなりアワビの棲息に適していることを示している

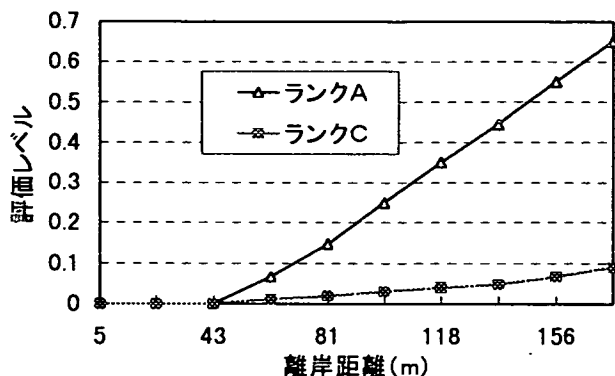


Fig. 1 離岸距離の影響

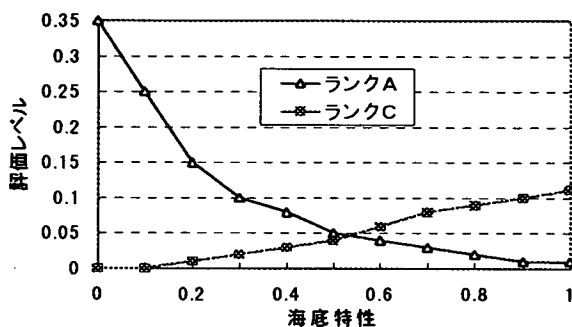


Fig. 2 海底特性の影響

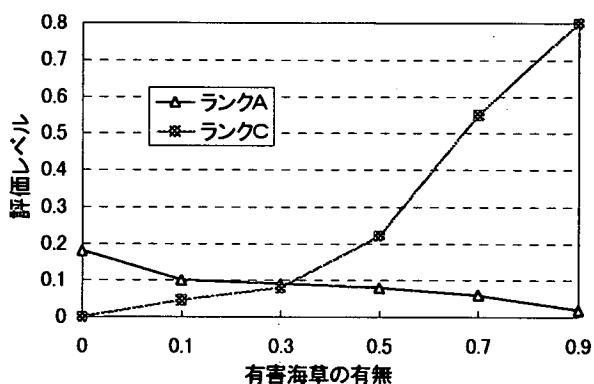


Fig. 3 海藻の有無(フクリンアミジ)の影響

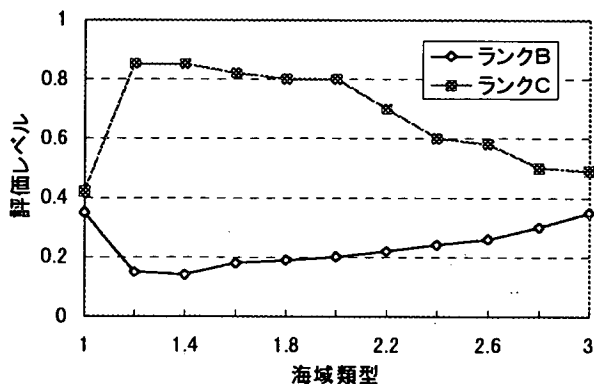


Fig. 4 海域類型の影響

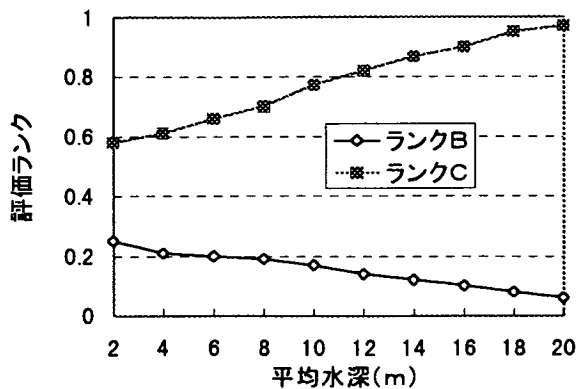


Fig. 5 平均水深の影響

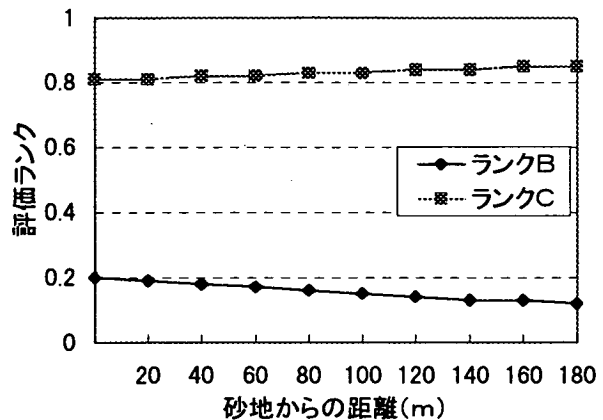


Fig. 6 砂地からの距離の影響

が必ずしも明確ではない。一方、Fig. 6の砂地からの距離の影響を見るとランクBおよびCの変化に関係せず、アワビの棲息環境の支配的因子とはならないことがわかる。

以上のニューラルネットワークから推定されたアワビの棲息条件をまとめると、離岸距離は40m以上で距離が大きいほど良い、岩礁域で転石は無いこと、フクリンアミジが無く有用海藻であるコンブ類が存在すること、外海域であること、また砂地からの距離、ならびに平均水深は関係しない、などである。

一方、中村ら(1992)は環境要因評価法からアワビ漁場の好適環境の要因として、砂地からの距離が10m以上であること、小さな転石がないこと、好きな海藻があり、フクリンアミジが無いことを示している。

両解析法の結果を比較すると、転石の状態、嫌いな海藻の有無、転石について、両評価法の結果は一致している。また海域類型については、外海域が好適であるとの結果が得られ、観測結果と一致している。しかし、ニューラルネットワークで影響が大きいと推定された離岸距離の因子は環境要因評価法では卓越要因に入っておらず、逆に砂地からの距離の因子は環境要因評価法で条件に入っているが、ニューラルネットワークの卓越条件には入っていないことがわかった。

以上、ニューラルネットワークによる環境評価手法に関して環境要因評価法との比較を通して検討した。さらに学習データを増やすことにより、アワビ棲息環境評価は十分可能であると考えられる。

4. 結論

本研究では、アワビの個体数を指標としてニューラルネットワークによる評価予測を試みた。ニューラル

ネットワークは中間層数ならびに細胞数を選択することで認識率の高いシステムを構築できること、さらに構築されたネットワークの感度解析によって因子間の相互の関係や結果への寄与率などを評価できることがわかった。これによって合理的なアワビの棲息環境条件整備を提言でき、生産増大に結びつくことが期待される。また一旦システムが構築されると、未経験者でも、棲息条件の適、不適を判断でき漁場環境整備に貢献すると考えられる。

参考文献

- (1) 岩瀬洋一郎, 沖正和, 中村充(1993): 環境要因評価法を用いたアワビ・ウニの生息環境のケーススタディ, 平成5年度日本水産工学会学術講演会講演 論文集, pp9-12.
- (2) 白木渡, 松保重之, 高岡宣善(1991): ニューラルネットワークによるアーチ橋の景観評価システム, 構造工学論文集, pp.687-697.
- (3) 全国沿岸漁業振興開発協会(1992): 平成3年度特定地域沿岸漁場開発調査一宮城県北部地域調査報告書一, p.164
- (4) 中村充(1992): 日本における人工生息場技術の現状と将来, 水産生物生息場造成ならびに沿岸開発に関する日米シンポジウム講演集, pp.7-11.
- (5) 松原雄平, 野田英明(1995): ニューラルネットワークを用いた海洋環境評価手法, Proc. of ECOSET'95, pp.447-452