

# 琵琶湖における漁獲高減少についての一考察

## ～琵琶湖固有種ニゴロブナについて～

東京理科大学 東 翔平

### 1. はじめに

近年、本来の生息地から異なる生息地へ持ち込まれた生物(外来生物)による日本の生態系の破壊が問題になり、2005年6月1日に「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」が施行された。「特定外来生物」とは、外来生物のなかでも生態系、人の生命、身体または農林水産業に被害を及ぼすおそれのある生物である。この特定外来生物の中でもブラックバス(オオクチバス、コクチバス)は非常に食欲旺盛で、繁殖能力が高く、生態系に重大な影響を及ぼす可能性のある魚である。それと同時に、釣魚として人気が高く、意図的に放流されてきた可能性も指摘されており、現在では全国各地に定着し猛威を振っている。

本研究では日本最大最古の湖であり、数十種の固有種が生息している琵琶湖に注目した。琵琶湖では1974年に初めてブラックバスが確認され、1983年に大繁殖し生態系への影響が懸念されている。

一方、琵琶湖では農業、工業排水などによる汚染も深刻な問題となっており、水質汚濁防止法などの条例に基づき、水質が厳しく監視されている。

このような状況の中で、琵琶湖の固有種であるニゴロブナの漁獲高は年々減少しており、1988年には198tあったものが、2003年には29tにまで落ち込んでいる。ニゴロブナは滋賀県の特産品である鮎寿司の材料となる魚であり、この漁獲高の減少は琵琶湖の漁業にとって大きな問題となっている。

現状では水質汚濁、ブラックバスをはじめとする特定外来生物の影響がともに漁獲高減少の原因であると考えられているが、「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」の施行以来、ブラックバスが特に注目を集めている。しかしコクチバスは琵琶湖では繁殖しないと考えられており、駆除の結果、ブラックバスの個体数は減少傾向にあるにもかかわらず、ニゴロブナの漁獲高減少に歯止めがかからないことなどから、むしろ水質の方が深刻な問題であると指摘する声もある。

そこで本研究では琵琶湖の水質データ、ブラックバスの漁獲高を用いて、ニゴロブナの漁獲高減少についての考察を行う。

### 2. データの概要

本研究で用いるデータは1987年～2002年の16年間分の琵琶湖の水質データ、琵琶湖におけるブラックバス及びニゴロブナの漁獲高である。水質を表すデータとしては、その代表的な指標である、BOD、COD、また富栄養化の原因物質となる窒素、リン化合物などの

量を用いた。

BODとはBiochemical Oxygen Demand(生物化学的酸素要求量)の略であり，水中の有機物が微生物の働きによって分解されるのに要した酸素の量で示した水質の指標．単位はmg/l．水質が悪い(有機物が多い)ほどBODは高くなるが，微生物の種類などによってBODは影響を受けるため注意が必要である．摂氏20度，五日間で消費される酸素量を表したものである．CODとはChemical Oxygen Demand(科学的酸素要求量)の略で，水中の被酸化生成物を酸化するために要した酸素の量で示した水質の指標．単位はmg/l．BODと同様，水質が悪い(有機物が多い)ほどCODは高くなるが，還元性の無機物によってもCODは高くなるため注意が必要である．全窒素，全リンはそれぞれ窒素化合物，リン化合物の総量である．

用いた水質データは以下の通りである．なおこれらのデータは年間の平均値を用いた．

水質データ項目・・・透明度：北湖，透明度：南湖，COD：北湖，COD：南湖，BOD：北湖，BOD：南湖，全窒素：北湖，全窒素：南湖，全リン：北湖，全リン：南湖

データの出典は参考文献[1],[2]参照．

### 3．分析

ニゴロブナの漁獲量減少に水質データ，ブラックバス漁獲量がどのように影響しているかを調べるために，相関分析，重回帰分析を行う．二つの手法を用いることで異なる面から考察が可能であると思われる．

#### 3．1 分析の流れ

- 1 相関係数を求めて散布図を作成し漁獲高に影響を与える変数を調べる．
- 2 重回帰分析によりニゴロブナの漁獲量を目的変数とする重回帰式を作成する．

#### 3．2 相関係数，散布図

まずニゴロブナ漁獲量と各種データの相関係数を求める．結果は以下の通りであった．

表1．ニゴロブナ漁獲量と各データの相関係数

透明度北湖	透明度南湖	COD北湖	COD南湖	BOD北湖	BOD南湖
-0.340	-0.203	-0.806	-0.700	0.717	0.548
全窒素北湖	全窒素南湖	全リン北湖	全リン南湖	バス漁獲量	
-0.319	0.052	0.697	0.787	0.352	

絶対値が最も大きくなったのは COD 北湖の-0.806 であった。また COD 南湖も強い負の相関を持っている。このことから COD がニゴロブナ漁獲量に大きな影響を与える変数であると考えられる。透明度はあまり強くはないが、北湖、南湖共にニゴロブナ漁獲量とは負の相関を持っている。また汚染物質であるはずの BOD，全リンが北湖、南湖とも強い正の相関があるという結果になった。水質が悪くなればなるほどニゴロブナの漁獲量が増えるということは考えにくいので、何らかの原因でこのような現実的には考えられない結果が出てしまったと思われる。

次に負の相関を持つ全窒素北湖，COD 北湖，COD 南湖，透明度北湖，透明度南湖の五つの変数を，漁獲量にとって重要な変数と考え，これらとニゴロブナ漁獲量との対散布図を作成し，以下に示す。

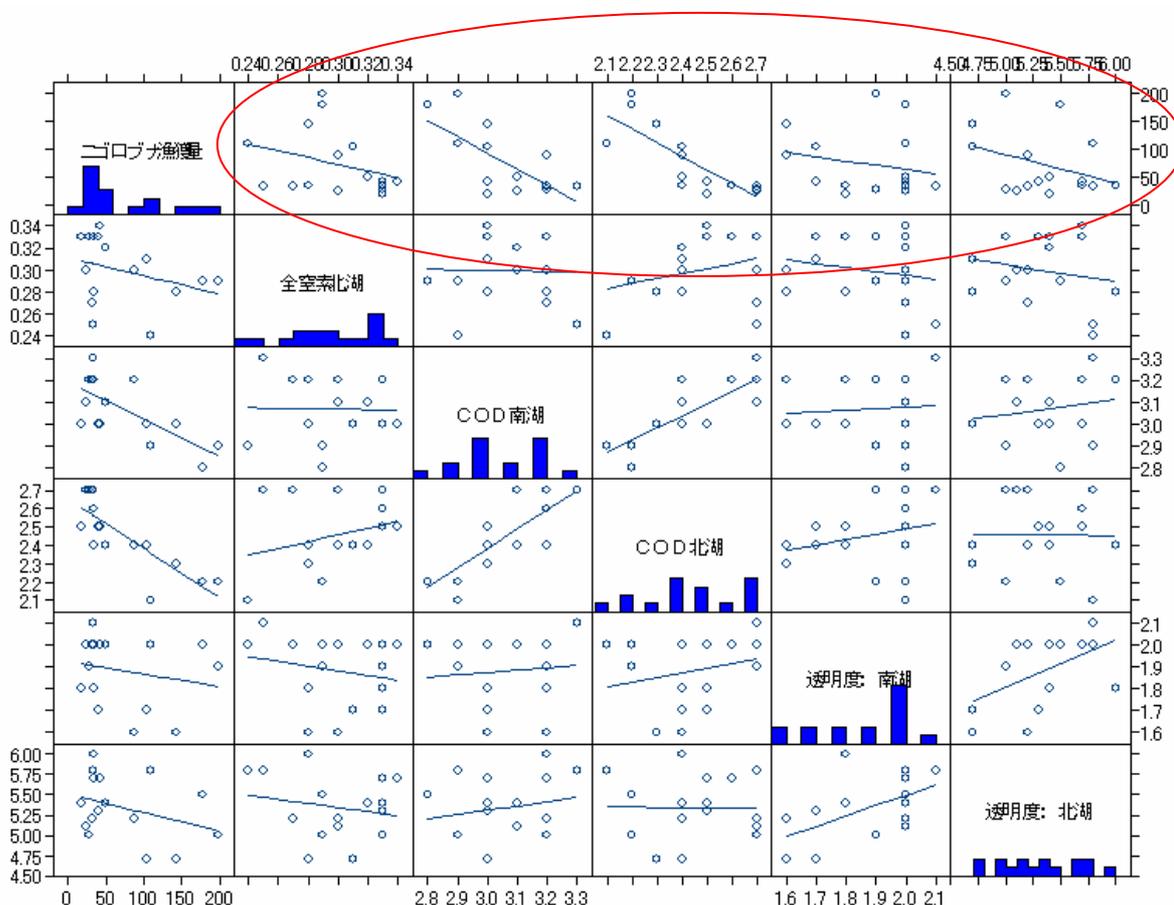


図 1 . ニゴロブナ漁獲量についての対散布図

相関係数からもわかるとおり，やはり COD の相関係数が大きい。COD 北湖と COD 南湖も強い相関があり，透明度も北湖，南湖の相関が高い。同様の水質データは湖の異なる

場所でも関係があるようである。また透明度に注目すると全窒素北湖，また散布図にはないが，他のデータと若干ながら負の相関があるように思われる。これは，透明度が他の水質データから決定される結果的な変数であるからではないだろうか。全窒素をはじめ，他の水質を表すデータが改善されれば結果として透明度が高くなる，というのは自然な結果のように思える。

### 3.3 重回帰分析

次に相関分析とは異なる観点からニゴロブナ漁獲量減少の原因を調べるために，水質データ，ブラックバス漁獲量を用いて重回帰分析を行う。

全変数を用いて重回帰分析を用いると，寄与率は 0.948 と非常に高い値になったが，モデルが冗長であり，また説明変数が多くなると寄与率は上がる傾向にあることから，この回帰式は好ましくないと思われる。そこで出来るだけ少ない説明変数で，出来るだけ寄与率を高くするようなモデルを作成することを考える。ここで S - PLUS の関数 step を用いる。Step は AIC(Akaike's Information Criterion)を用いて変数選択を行う関数である。

作成されたモデルは以下の通りである。

$$\begin{aligned} \text{ニゴロブナ漁獲量} = & -335.1311 + 136.3269[\text{透明度：南湖}] - 119.7481 [\text{COD 南湖}] \\ & + 219.2845 [\text{BOD 北湖}] + 18433.3751[\text{全リン南湖}] \\ & \dots (1) \end{aligned}$$

上記のモデルの寄与率は 0.895 であり，4 つの説明変数で寄与率の高い回帰式を作成することが出来た。選択された説明変数は透明度：南湖，COD 南湖，BOD 北湖，全リン南湖であった。それぞれの係数は全リン南湖を除き，絶対値が 100 ~ 300 程度であるが，全リン南湖の係数が 18,000 を超えるという以上に高い値になった。全リン南湖はニゴロブナ漁獲量とかなり高い相関を持つが，同程度の相関を持つ他の変数はそこまで大きい係数になっていない。この原因は全リンの元のデータの値の大きさが，他のデータとかなり異なるということにあると考えられる。(1)式に採用された透明度，COD，BOD の元のデータの値はおおよそ 1 ~ 5 程度である。しかし全リンの値は 0.008 から 0.02 程度と他の変数と比較してかなり小さい。このように，全リン南湖はニゴロブナ漁獲量と強い相関を持つために重回帰式に採用され，値が小さいために，係数が非常に大きくなったと考えられる。また，ブラックバスの漁獲高は(1)式に採用されず，ニゴロブナの漁獲量に対して大きな影響はないという結果であった。重回帰分析からも相関分析と同様に，ブラックバスよりも水質の汚濁の方がニゴロブナ漁獲高の減少にとって大きな問題であるということがわかった。しかし特に重要視される水質データが若干異なっている。

#### 4. まとめ

本研究では琵琶湖の水質データ，ブラックバスの漁獲高を用いて，琵琶湖の固有種であるニゴロブナの漁獲高減少に対する考察を行った。「特定外来生物による生態系等に係る被害の防止に関する法律」の施行により，ブラックバスの影響のみが注目されがちであったが，今回の結果からはブラックバスの影響よりもむしろ水質汚染のほうが重大な問題なのではないかという結果が出た。

相関分析からはニゴロブナ漁獲量にとって特に重要なデータはCOD，透明度であると考えられる。しかし相関分析では汚染物質である全リン，BODがニゴロブナの漁獲量と正の相関を持ち，また，ブラックバス漁獲量もニゴロブナ漁獲量と正の弱相関を持つという不自然な結果が出てしまった。

重回帰分析では透明度：南湖，COD南湖，BOD北湖，全リン南湖が選択され，高い寄与率を求めることが出来たが，BOD北湖，全リン南湖は係数が正の値であり，ここでも水質汚濁が進めばニゴロブナ漁獲量が増加するという結果になってしまった。

原因として考えられることは，水質のデータの不足が考えられる。COD，BOD，透明度などを用いたが，その他にも水温，水位などの変数が考えられる。さらに，水質データは年間の平均値を用いたが，これにも問題があるのではないだろうか。月ごとの推移などを追っていけば異なる結果が得られるかもしれない。また水質データは北湖，南湖に分類されているが，ブラックバス及びニゴロブナの漁獲量は詳細なデータが手に入らなかったために全体の漁獲量を用いた。またブラックバスと同様に特定外来生物に指定されているブルーギルの影響が考慮されていないことにも問題があると考えられる。ブルーギルも琵琶湖で大繁殖しており，魚卵を好んで食することから生態系への影響が懸念されているが，漁獲量などの正確なデータが手に入らなかったために今回は分析対象とすることが出来なかった。今後はより詳細な水質のデータ，ブルーギルのデータなどを用いればさらに詳しくニゴロブナの漁獲量減少の原因を分析することが可能であると考えられる。

## 参考文献

- [1]滋賀県農政水産部水産課 (<http://www.pref.shiga.jp/g/suisan/>)
- [2]近畿農政局大津統計情報センター (<http://www.shiga.info.maff.go.jp/>)
- [3]滋賀県ホームページ (<http://www.pref.shiga.jp/>)
- [4]財団法人滋賀県下水道公社 (<http://www.shiganogesui.jp/top.html>)
- [5]財団法人琵琶湖・淀川水質保全機構 (<http://www.byq.or.jp/>)
- [6]滋賀県琵琶湖・環境科学研究センター(<http://www.lberi.jp/root/jp/bkjindex.htm>)
- [7]農林水産省ホームページ (<http://www.maff.go.jp/index.html>)
- [8]環境省ホームページ (<http://www.env.go.jp/>)
- [9]フリー百科事典 ウィキペディア (<http://ja.wikipedia.org/wiki/>)
- [10] 永田靖・棟近雅彦共著：「多変量解析入門」，株式会社サイエンス社(2001)
- [11]水田正弘・山本義郎・南弘征・田澤司：「S-PLUS によるデータマイニング入門」  
森北出版株式会社(2005)
- [12]W.N.ヴェナブルズ・B.D.リプリー，伊藤幹夫・大津泰介・戸瀬信之・中東雅樹[訳]  
「S-PLUS による統計解析」シュプリンガー・フェアラーク東京株式会社(2001)

## S - PLUSコマンド

- `cor(琵琶湖データ[,2:ncol(琵琶湖データ)])`

各列についての相関係数を計算

- `重回帰2 <- step(重回帰1, lower = 1)`

全変数を説明変数として取り込んだ重回帰1からAIC(Akaike's Information Criterion)を用いて変数を選択し、新たなモデル、重回帰2を作成する。

上記以外の分析は全てGUI操作で行った。行った操作は以下の通り。

- Excelデータのインポート。
- 対散布図の作成。
- 重回帰分析(全変数を説明変数とした回帰式の作成)。

## S - PLUS出力

### 相関係数

	透明度北湖	透明度南湖	COD北湖	COD南湖	BOD北湖	BOD南湖
透明度北湖	1	0.5245	-0.0082	0.1845	-0.3465	0.1278
透明度南湖	0.5245	1	0.2520	0.0910	-0.2344	0.1413
COD北湖	-0.0082	0.2520	1	0.7593	-0.6128	-0.5972
COD南湖	0.1845	0.0910	0.7593	1	-0.4739	-0.2250
BOD北湖	-0.3465	-0.2344	-0.6128	-0.4739	1	0.3339
BOD南湖	0.1278	0.1413	-0.5972	-0.2250	0.3339	1
全窒素北湖	-0.1947	-0.1955	0.2920	-0.0206	-0.0286	-0.3546
全窒素南湖	-0.2529	-0.5192	-0.1033	-0.2934	0.0632	-0.1846
全リン北湖	-0.6228	-0.2411	-0.3754	-0.3158	0.7175	0.2430
全リン南湖	-0.4101	-0.6470	-0.7661	-0.4397	0.5792	0.4054
ブラックバス漁獲量	-0.3600	-0.1402	-0.0213	0.1984	0.3150	0.2217
ニゴロブナ漁獲量	-0.3403	-0.2036	-0.8060	-0.7007	0.7177	0.5483

	全窒素北湖	全窒素南湖	全リン北湖	全リン南湖	ブラックバス漁獲量	ニゴロブナ漁獲量
透明度北湖	-0.1947	-0.2529	-0.6228	-0.4101	-0.3600	-0.3403
透明度南湖	-0.1955	-0.5192	-0.2411	-0.6470	-0.1402	-0.2036
COD北湖	0.2920	-0.1033	-0.3754	-0.7661	-0.0213	-0.8060
COD南湖	-0.0206	-0.2934	-0.3158	-0.4397	0.1984	-0.7007
BOD北湖	-0.0286	0.0632	0.7175	0.5792	0.3150	0.7177
BOD南湖	-0.3546	-0.1846	0.2430	0.4054	0.2217	0.5483
全窒素北湖	1	0.7674	-0.1339	-0.3461	-0.4628	-0.3191
全窒素南湖	0.7674	1	-0.0619	0.1309	-0.4286	0.0525
全リン北湖	-0.1339	-0.0619	1	0.5899	0.5685	0.6977
全リン南湖	-0.3461	0.1309	0.5899	1	0.4037	0.7873
ブラックバス漁獲量	-0.4628	-0.4286	0.5685	0.4037	1	0.3520
ニゴロブナ漁獲量	-0.3191	0.0525	0.6977	0.7873	0.3520	1

### 重回帰 1 (全変数を説明変数として取り込んだ回帰式)

Call: lm(formula = ニゴロブナ漁獲量 ~ 透明度:北湖 + 透明度:南湖 + COD北湖 + COD南湖 + BOD北湖 + BOD南湖 + 全窒素北湖 + 全窒素南湖 + 全リン北湖 + 全リン南湖 + ブラックバス漁獲量, data = 琵琶湖データ, na.action = na.exclude)

Residuals:

```

 1  2  3  4  5  6  7  8  9 10 11 12 13 14 15 16
1.603 2.384 9.464 8.243 -4.565 5.457 -29.99 -4.25 -8.23 18.58 -15.47
23.11 8.467 -14.47 -2.803 2.472

```

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-812.1309	912.5446	-0.8900	0.4238
透明度:北湖	28.7787	55.5677	0.5179	0.6319
透明度:南湖	82.8162	118.7062	0.6977	0.5238
COD北湖	235.0746	297.5557	0.7900	0.4737
COD南湖	-284.1189	208.3910	-1.3634	0.2445
BOD北湖	259.9752	240.0079	1.0832	0.3397
BOD南湖	153.8477	140.4460	1.0954	0.3349
全窒素北湖	-376.7612	697.4390	-0.5402	0.6177
全窒素南湖	356.4054	651.8849	0.5467	0.6136
全リン北湖	11481.0060	16711.2581	0.6870	0.5298
全リン南湖	19911.2135	17352.8488	1.1474	0.3152
ブラックバス漁獲量	0.0170	0.2866	0.0594	0.9555

Residual standard error: 25.57 on 4 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.948

F-statistic: 6.631 on 11 and 4 degrees of freedom, the p-value is 0.04127

## 重回帰 2 (AIC を用いて変数選択した回帰式)

```
Call: lm(formula = ニゴロブナ漁獲量 ~ 透明度：南湖 + COD南湖 + BOD北湖 + 全リン南湖,  
data = 琵琶湖データ, na.action = na.exclude)
```

Residuals:

```
   Min      1Q  Median      3Q     Max  
-38.47 -11.84  1.866 14.75 25.48
```

Coefficients:

	Value	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	-335.1311	255.9415	-1.3094	0.2171
透明度：南湖	136.3269	48.8947	2.7882	0.0176
COD南湖	-119.7481	48.4274	-2.4727	0.0310
BOD北湖	219.2845	127.4914	1.7200	0.1134
全リン南湖	18433.3751	3927.1294	4.6939	0.0007

Residual standard error: 21.91 on 11 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.8951

F-statistic: 23.46 on 4 and 11 degrees of freedom, the p-value is 0.00002439