

令和 2 年 5 月 22 日現在

機関番号：35403  
 研究種目：基盤研究(C)（一般）  
 研究期間：2016～2019  
 課題番号：16K07847  
 研究課題名（和文）ビッグデータによる統計的機械学習を利用した南九州の漁業予測・赤潮予測モデルの開発  
  
 研究課題名（英文）Development of predictive models based on bigdata using statistical machine learning for red tide and fishery in the southern Kyushu  
  
 研究代表者  
 庄野 宏（SHONO, HIROSHI）  
  
 広島工業大学・工学部・教授  
  
 研究者番号：30344328  
 交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、Lp正則化や深層学習などの統計的機械学習モデルを南九州の赤潮予測・漁業予測に適用し、新たな知見を得ることを目的にして、以下の解析を実施した。

(1) 気象データに基づく、スパースモデリングやディープラーニングを利用した八代海の赤潮予測、(2) 東シナ海におけるシラスの来遊量予測、(3) 鹿児島近海におけるクロマグロ幼魚の漁獲量予測、(4) 鹿児島県におけるキビナゴの資源評価  
 その結果、(1)-(3)では精度の高い予測値が得られ、(4)では資源の絶対量の推定値が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

八代海では夏季の7-9月にシャトネラ・アンティーカによる赤潮が発生する年があり、ブリ養殖場で赤潮が発生すると、密度が低い場合でも甚大な被害が認められる。しかし、事前に赤潮の発生規模や時期などの情報が得られた場合は、餌止めをする、柵を設けるなど、被害軽減の対策を講じることが可能である。そのため、赤潮発生の有無や規模、発生日や終息日、被害金額などに関する精度の高い予測が求められている。鹿児島近海でのシラスの来遊量予測やクロマグロ幼魚の漁獲量予測について、精度の高い予測結果は漁業者の行動選択に活用できる。鹿児島県のキビナゴ資源について、精度の高い資源の絶対量推定値は管理方策の策定に利用可能である。

研究成果の概要（英文）：The purpose of the present study is to obtain new knowledge through the application of statistical machine learning models for fishery and red tide prediction in the Minami Kyushu, and we conducted the following analyses:

(1) Red tide prediction in the Yatsushiro bay based on the weather data by using sparse modeling and deep learning, (2) Catch prediction for white bait in the East China Sea, (3) Catch prediction for juvenile bluefin tuna in the water close to Kagoshima, (4) Stock assessment for banded blue-sprat in Kagoshima prefecture.

As a result, we obtained the highly accurate predictive values in items (1)-(3) and the estimated absolute values of the stock in (4).

研究分野：水産資源解析学、生物統計学、数理統計学

キーワード：赤潮 統計的機械学習 Elastic Net 深層学習 気象データ 八代海 高次元母数推定 ビッグデータ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

八代海では1988年夏から2015年夏までの計28年間に、ラフィド藻類の一種であるシャトネラ・アンティーカ (*Chattonella antiqua*) により引き起こされる赤潮が、鹿児島県や熊本県の養殖業(ブリやカンパチ、マダイ、シマアジ)に60億円余りの被害を出しており、特にブリの被害が大きい。そのため、有害な赤潮が発生する7-9月の前に発生の有無およびその規模を予測し、対策を立てることが急務である。実際、赤潮発生の有無、発生が見込まれる場合の規模、発生日・終息日(発生から終息までの経過日数も含む)、養殖業への被害金額などを事前に予測できた場合には餌止めをする、柵を設定する、養殖場を高台等の別の場所に避難させるなどの方策を取ることで、被害を多少なりとも軽減することが可能となる。鹿児島県水産技術開発センターでは、当該地域における降水量等の気象要因、水温等の海洋環境、栄養塩等の化学的な要因を表す説明変数に基づき、重回帰分析などにより赤潮発生規模の予測を行ったこともあるが、的中率は良くなかった。その理由として、データの蓄積年数が10数年と短い点、および共分散分析等に代表される伝統的な統計モデルではデータの挙動を正しく説明出来ない点が挙げられる。

また、東シナ海や鹿児島湾などの鹿児島周辺海域では近年シラスの漁獲量が急激に減少しており、どのような漁業要因や海洋環境、気象条件などが影響を与えているかの解析が急務である。

加えて、鹿児島近海では冬期(12~4月)のクロマグロ幼魚の来遊量が減少しており、水産庁によるクロマグロの県別漁獲規制と合わせて、小型曳縄漁業にとって依然として厳しい状況が続いている。卓越年級群による急激な増加や減少を伴うことも多いクロマグロ幼魚の精度の高い漁獲量推定は、漁業者の行動選択においても非常に重要である。

さらに、キビナゴは鹿児島県の重要魚種である。近年漁獲量が減っているが、資源評価はなされていない。そのため、CPUE(catch per unit effort, 単位努力当たり漁獲量)の標準化などに代表される漁獲効率解析、資源評価および評価結果に基づく合理的な資源管理が求められている。

### 2. 研究の目的

上記の背景を考慮し、本研究では標本数よりも未知パラメーター数の方が高い高次元母数データ、および標本数が非常に多いビッグデータに適用可能なスパースモデリング(LassoやElastic Netに代表される $L_1$ 正則化手法)およびディープラーニング(深層学習)などの統計的機械学習手法を利用して南九州地域における漁業予測と海洋環境予測を実施し、様々な問題を解決に導き、漁業従事者の収入向上や該当地域の漁業発展に寄与することを主な目的とする。

具体的には、八代海におけるシャトネラ・アンティーカによる赤潮発生の有無、規模(被害金額)、発生日や終息日などの予測、鹿児島近海におけるシラスの来遊量予測、東シナ海における鹿児島近海におけるクロマグロ幼魚の漁獲量予測、鹿児島県におけるキビナゴ資源の絶対量推定を新しい統計モデルに基づいて実施する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 八代海の赤潮予測

##### 使用データ

気象庁が収集し、毎日ほぼリアルタイムに気象庁のウェブサイトで公表している530地点余りのデータのうち、八代および水俣の気象データ(気温、日照時間、降水量、平均風速)およびこれらを加工して得られるベクトル風速(東西および南北方向)南九州地域の梅雨入り日の情報(5月1日から梅雨入りまでの日数)を説明変数に設定し、八代海における赤潮発生の有無、規模(被害金額)、発生日および終息日(発生から終息までの経過日数を含む)を応答変数として予測した。これらの説明要因は主に日別データを月毎に加工し、各年の2-6月分を使用した。

応答変数とした八代海の赤潮発生に関するデータは、鹿児島県水産技術開発センターが1988年夏季(7-9月)から公表しているため、計算開始年を1988年とし、2016, 2017, 2018, 2019年までのデータを用いて、それぞれ2016, 2017, 2018, 2019年の7-9月の赤潮発生を予測した。

##### 解析手法

月別の気象データに基づく予測では標本数が約30、未知パラメーター数は60前後となり、標本数よりも未知パラメーター数が多い高次元母数データのため、共分散分析や一般化線型モデルなどの伝統的な統計モデルは使用出来ない。そこで、 $L_1$ 正則化の概念を利用したスパースモデリングの一種であるLasso(Tibshirani, 1996)、およびElastic Net(Zou and Hastie, 2005)とよばれる線形モデルに $L_1$ ノルムと $L_2$ ノルム加重平均のペナルティ項を追加した手法を利用した。この方法は標本数よりも未知パラメーター数が多い高次元母数データに対して適用可能であり、線形モデルのため各々の説明変数を1単位変化させた時の応答変数の変化の度合いを求めること、すなわち要因分析が可能という長所を持つ。また、統計的に有意でない説明変数の係数を0と推定して削除するという利点もある。

さらに、教師付き学習の一種である誤差逆伝搬法によるニューラルネットワークにおいて中間層を複数にした深層学習(ディープラーニング)も使用した。深層学習もElastic netなどのスパースモデリングと同様、高次元母数データに対して適用可能であり、モデルの予測精度が非常に高いという長所がある。なお、一般に中間層が1つの教師付きニューラルネットワーク、および深層学習における要因分析は難しいとされているが、本研究では各々の説明要因に対する応答変数の条件付き確率によるシミュレーションに基づく簡便な要因分析法を試みた。

(2)鹿児島近海におけるシラス来遊量予測、クロマグロ幼魚の漁獲量予測、キビナゴの資源評価  
シラスの来遊量予測では、阿久根地域の春漁の漁獲量予測をカタクチイワシの卵稚仔調査での卵の採集量や阿久根港でのまき網によるカタクチイワシ漁獲量、甑海峡での表面水温で推定し、深層学習によるパイロットスタディを行った。クロマグロ幼魚の漁獲量予測では、近隣各県のクロマグロ漁獲量や種苗生産量、表面水温などこれまでと同様のデータを利用し、サポートベクター回帰に代えて深層学習を使用する。キビナゴの資源評価では、漁獲データを整理し、代表的な漁法の標準化されたCPUEを指標としてプロダクションモデルによる解析を実施し、過去から現在までの資源の絶対量の推移を推測するとともに、様々な資源管理指標値の推定を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) 八代海の赤潮予測

赤潮発生の有無、規模（被害金額）経過日数の予測

赤潮発生の有無について、Elastic Net および深層学習の2種類の方法を適用したが、過去の推測部分についてのみならず、最新年の予測も全て実際の観測データとほぼ合致した。

次に、被害金額および経過日数の予測について、Elastic Net では過去の推定部分をうまく追跡できたが、最新年の予測値は対応する観測値と多少の差異がみられた。深層学習による解析では過去の推測のみならず最新年の予測も的中し、特に2018年は実測値との差異が少なかった(図1: y軸は自然対数軸)。

なお、要因分析ではElastic Net、学習ともに梅雨入り日が非常に強く影響しており、南九州の梅雨入りが遅いほど八代海における赤潮の規模および被害金額が大きいことが判明した。

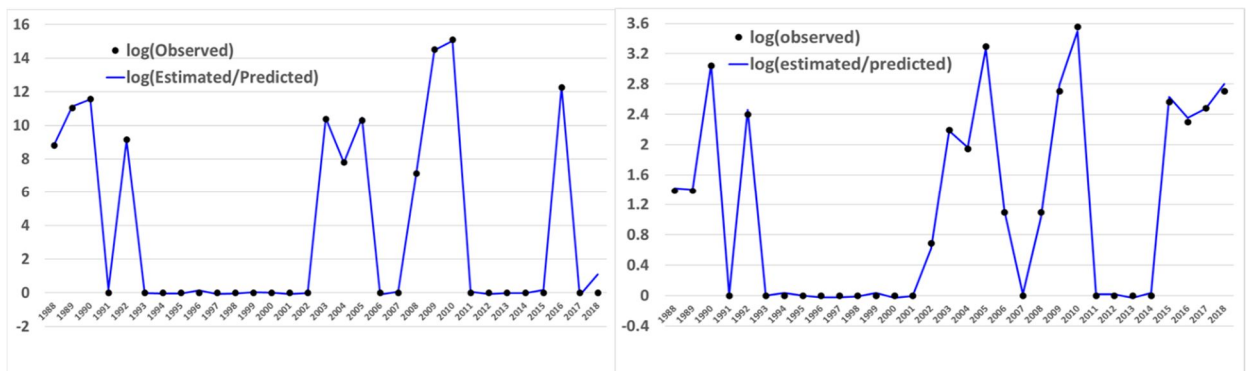


図1 深層学習による2018年の八代海における赤潮の被害金額(左図)と経過日数(右図)の予測

赤潮の発生日および終息日の予測

赤潮の発生日として6月1日からの積算日数、終息日として9月30日からの逆算日数を応答変数に設定したが、2019年は発生日・終息日の両者とも予測値と実測値の間に10日前後のズレがみられた(図2)。

この原因として、発生日予測では該当年に未発生と6月1日の発生が等しいとみなし、終息日予測では未発生と9月30日の終息が等しいとみなす応答変数の設定を使用しており、過去30年余りにおいて6月前半および9月下旬の赤潮発生は起こっていないが、この応答変数の設定方法に問題があると考えられる。

なお、上記での経過日数の予測は観測値との差異が少ないことから、発生から終息までの日数ではなく、発生日および終息日のピンポイント予測に関して差異が生じていると考えられる。

さらに、月別データに代えて旬別(上旬・中旬・下旬)データを利用すると最新年における予測値と実測値とズレは10日以内に収まると考えたため、旬別データによる解析を試みたが、未知パラメータ数が非常に多いため、現実的な予測値が得られなかった。そこで、最初にElastic Netを利用して有意でない要因を削除し、説明変数の数を大幅に減らしてから、次に深層学習を利用して予測を実施する、という2段階法によるモデル分析を今後の課題としたい。

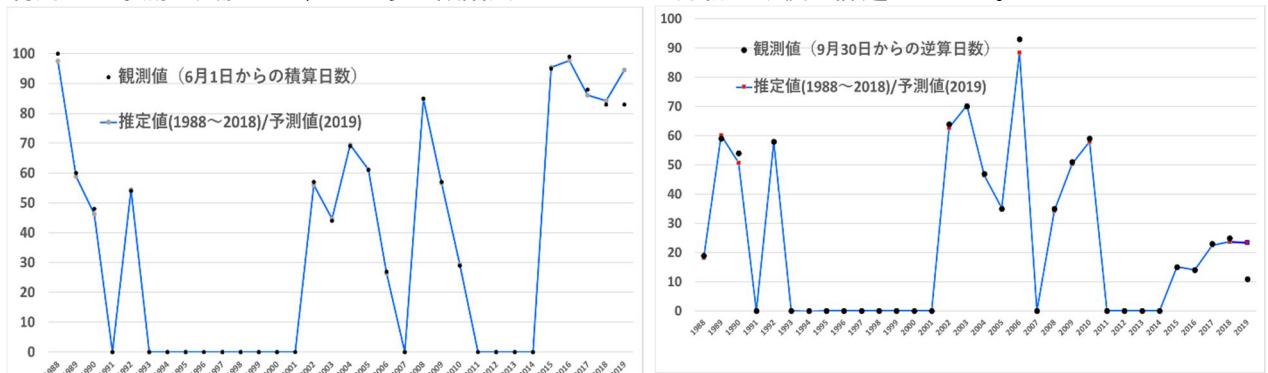


図2 深層学習による2019年の八代海における赤潮の発生日予測(左図)と終息日予測(右図)

(2)鹿児島近海におけるシラス来遊量予測、クロマグロ幼魚の漁獲量予測、キビナゴの資源評価  
パイロットスタディのシラス来遊量予測では 1999 年からのデータを用いて 2017 年、2018 年春漁の漁獲量を深層学習により予測したが、過去の追跡のみならず最新年の予測値はほぼ的中したことから、説明変数の数が少ない場合にも深層学習が極めて有効であることが示唆された。  
クロマグロ幼魚の漁獲量予測では、2016 年以前に実施したサポートベクター回帰による予測よりも、本研究の 2016 年以降の深層学習による予測の方が、予測値と観測値との差異が概して少なかったため、サポートベクター回帰に対する深層学習の有意性が示唆されたと考えている。今後は水産庁によるクロマグロの県別漁獲規制(モラトリアム)の影響評価を行っていききたい。  
キビナゴの資源評価では、現状の推定資源重量が約 7,700t、MSY(最大持続生産量)が約 3,500t、近年の漁獲量が多い年でも 2,000t 程度であることから、漁獲制限などの緊急の方策は不要であることが示された。このことは、 $B/B_{msy}$  (現状の推定資源重量を分子に、MSY に対応する推定資源重量を分母にとったときの比率)および  $F/F_{msy}$  (現状の推定漁獲係数を分子に、MSY に対応する推定漁獲係数を分母にとったときの比率)の推定値がそれぞれ 1.7, 0.25 程度であることから示唆される。また、経済的な要因を組み込んだ漁獲効率解析の結果から、刺網、棒受網、一本釣りという 3 種類の主要漁法の中では刺し網によるキビナゴの単価が高いこと、さらにブランド品として知られている甌島のキビナゴよりも南薩地域の方が単価は高いことが示唆された。今後はキビナゴの漁獲データを整理して直近年まで含めて解析し、モデルの改良を行いたい。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 岡村寛、北門利英、庄野宏	4. 巻 83(5)
2. 論文標題 水産資源データ解析と予測モデル	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本水産学会誌	6. 最初と最後の頁 850-855
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2331/suisan.WA2456-1">https://doi.org/10.2331/suisan.WA2456-1</a>	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 庄野宏、村田圭助、中島広樹、矢野浩一、西広海	4. 巻 83(5)
2. 論文標題 スパースモデリングによる赤潮の発生予測	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本水産学会誌	6. 最初と最後の頁 855-855
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.2331/suisan.WA2456-6">https://doi.org/10.2331/suisan.WA2456-6</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Kang Wei, Huang Shu, Chen Xiaowen, Wang Jun, Ohtomi Jun, Wang Chenghui	4. 巻 806
2. 論文標題 Genetic admixture of mitten crabs in the Northeast Asia hybrid zones	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Hydrobiologia	6. 最初と最後の頁 203 ~ 214
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10750-017-3358-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ahamed Ferdous, Ahmed Zoarder Faruque, Hossain Md. Yeamin, Ohtomi Jun	4. 巻 43
2. 論文標題 Growth and longevity of the mola carplet <i>Amblypharyngodon mola</i> (Cyprinidae) in the Payra River, southern Bangladesh	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Egyptian Journal of Aquatic Research	6. 最初と最後の頁 291 ~ 295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ejar.2017.11.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Farhana Zannatul. and Jun Ohtomi	4. 巻 36(6)
2. 論文標題 Ovarian maturation, size at sexual maturity and spawning season of <i>Parapenaeus fissuroides</i> Crosnier, 1985 (Decapoda: Pandalidae).	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Crustacean Biology	6. 最初と最後の頁 815-822
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1163/1937240X-00002483	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yukako Mochizuki, Riko Yamada, Hiroto Shishido, Yasuji Masuda, Shizuko Nakai, Noriyuki Takai, Shiro Itoi and Haruo Sugita	4. 巻 2(1)
2. 論文標題 Complete mitochondrial genome of an undescribed gnomefish of the genus <i>Scombrops</i> (Teleostei, Scombroidae) from southern waters off Kyushu Island, Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Mitochondrial DNA Part B: Resources	6. 最初と最後の頁 106-108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/23802359.2017.1289348	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計8件(うち招待講演 3件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 庄野宏・高杉朋孝・宮田翔也
2. 発表標題 深層学習を利用した気象データに基づく八代海の赤潮発生日および終息日の予測
3. 学会等名 令和元年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 庄野宏
2. 発表標題 深層学習に基づく八代海の赤潮発生日・終息日の予測
3. 学会等名 2019年度愛媛大学LaMer(化学汚染・沿岸環境研究拠点)シンポジウム「赤潮研究集会」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 庄野宏・富山清升
2. 発表標題 統計教育の現状と課題ーAI・数理・データサイエンス教育の導入に向けてー
3. 学会等名 九州ブロック第2回データサイエンス教育に関するシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 庄野宏、天野裕平、櫻井正輝
2. 発表標題 ディープラーニングを利用した鹿児島県におけるシラス漁況予測の試み
3. 学会等名 平成30年度日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 庄野宏、西広海、高杉朋孝、宮田翔也、森島義明
2. 発表標題 気象データを利用した機械学習・深層学習による八代海の赤潮予測
3. 学会等名 2018年度水産海洋学会研究発表大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 庄野宏、西広海、高杉朋孝、宮田翔也、森島義明
2. 発表標題 気象データに基づく八代海の赤潮発生予測
3. 学会等名 2018年度愛媛大学LaMer（化学汚染・沿岸環境研究拠点）シンポジウム「赤潮研究集会」（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 庄野宏、大崎涼平、坂本匠、酒井光夫
2. 発表標題 南米ペルー沖におけるイカ類の漁獲効率解析
3. 学会等名 平成29年度日本水産学会九州支部大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 庄野宏、村田圭助、中島広樹、矢野浩一、西広海
2. 発表標題 スパースモデリングによる赤潮の発生予測
3. 学会等名 平成29年度日本水産学会春季大会ミニシンポジウム「水産資源データ解析と統計モデル」(招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

researchmap (庄野 宏) <a href="https://researchmap.jp/hiroshi1">https://researchmap.jp/hiroshi1</a> 広島工業大学教員紹介 (庄野 宏) <a href="http://www.it-hiroshima.ac.jp/faculty/engineering/architectural/teacher/hiroshi_shono/">http://www.it-hiroshima.ac.jp/faculty/engineering/architectural/teacher/hiroshi_shono/</a> Google Scholar Citations (Hiroshi SHONO) <a href="https://scholar.google.com/citations?user=6mum0A8AAAAAJ&amp;hl=ja">https://scholar.google.com/citations?user=6mum0A8AAAAAJ&amp;hl=ja</a> ResearchGate (Hiroshi SHONO) <a href="https://www.researchgate.net/profile/Hiroshi_Shono">https://www.researchgate.net/profile/Hiroshi_Shono</a> J-GLOBAL (庄野 宏) <a href="https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=200901050444949274">https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=200901050444949274</a>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	大富 潤  (OTOMI JUN)	鹿児島大学・農水産獣医学域水産学系・教授	
	(10253915)	(17701)	



## 6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	増田 育司 (MASUDA YASUJI)  (70107861)	鹿児島大学・農水産獣医学域水産学系・教授  (17701)	2017年3月7日削除
研究 協力者	高杉 朋孝 (TAKASUGI TOMOTAKA)		
研究 協力者	宮田 翔也 (MIYATA SHOYA)		