

深層学習による漁海況予測モデルの開発 ～ シリヤケイカとカタクチイワシシラスを事例に ～

海洋生産技術担当 齋浦 耕二

Key word; 深層学習、漁海況予測、シリヤケイカ、カタクチイワシ、卵数法、産卵量

深層学習（ディープラーニング）とは？

「ニューラルネットワーク」は、脳の模倣から始まったデータ処理技術で、1940年代からの研究の歴史があります。その構造は、「入力層」、「隠れ層」、「出力層」の3つに分かれます。図1のそれぞれの丸印が神経細胞（ニューロン）に相当する「ノード」で、それらを繋ぐ線が「エッジ」で、神経細胞をつなぐ軸索に相当します。「層」は複数の「ノード」が1列に並びます。1つの「ノード」からの出力は、次の「層」のすべての「ノード」の入力となります。各層は「活性化関数」と呼ばれる関数を持ち、「ノード」の興奮状態を規定します。入力データは各層で順番に変換されて行き結果を出力します。まず、予測結果の判っている訓練データを繰り返し学習して、予測精度が向上するようノードの値、エッジの重み、活性化関数を調整します。「隠れ層」は複数の「層」を持つことができ、多くの「隠れ層」を持つものを「深層学習」と呼んでいます。今回のモデル（LSTM：長短期記憶）の隠れ層は、512層の深さに設定しています。

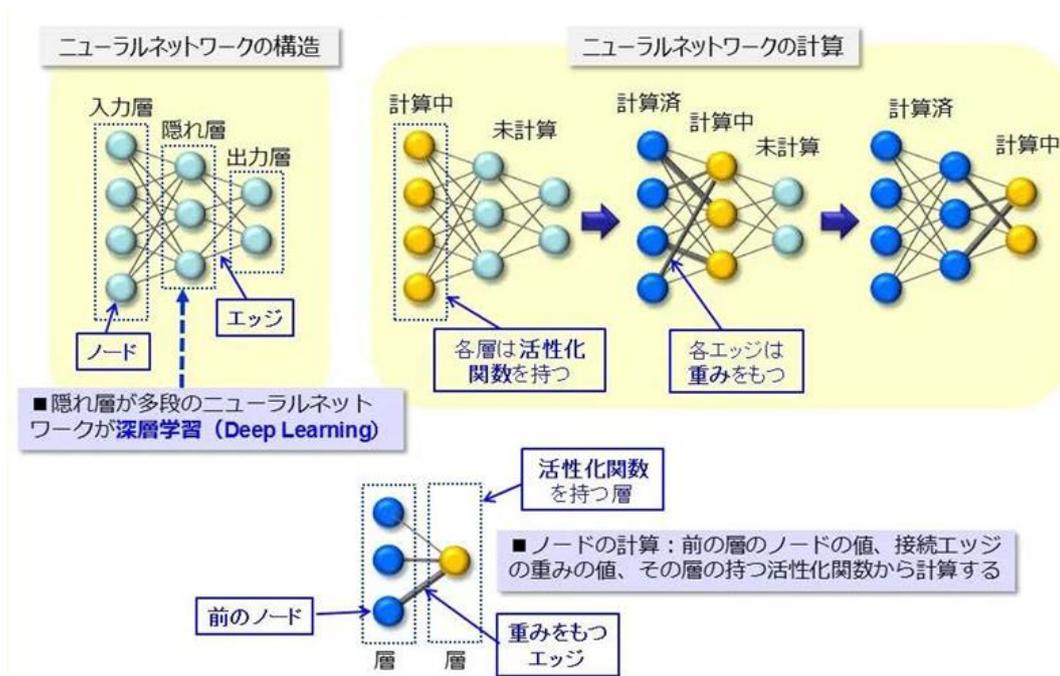


図1. ニューラルネットワークと深層学習の概念(谷田部卓. “深層学習とは”. 深層学習(ディープラーニング)の原理、CNN - TickTack World. 2016. <http://gagbot.net/machine-learning>. (2024.1.16)より引用)

このモデル開発は、阿南工業高等専門学校創造技術工学科との共同研究で進めています。普通のパソコンでは計算結果を得るのに長時間を要します。そのため2020年に同学科へ、「Deep Learning BOX II」サーバーを置いて、2021年には計算処理速度アップのためグラフィックボードを増設しました。このサーバーでも、今回のモデルの最初の1ケースを計算する場合、約半日の時間が必要です。

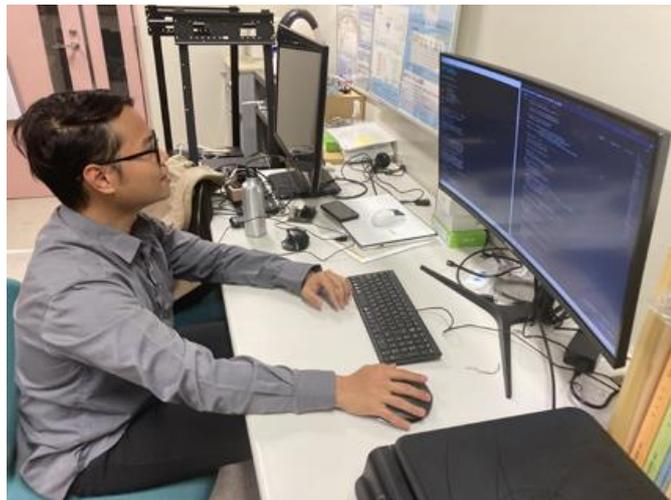


写真 1. 研究室でのプログラミング作業

シリヤケイカの予測モデルとその予測結果

紀伊水道で操業する椿泊漁協所属の小型底曳網漁船の「ある月までの5ヶ月の各月の平均CPUE（1日1隻当たり漁獲量 kg）」と「ある月までの5ヶ月の紀伊水道10m層平均水温」から「翌月の平均CPUE（同上）」を予測するモデルです。2004年から2022年まで19年間の漁獲資料を学習させて予測値を計算しました。本モデルでの実績値と予測値との平均誤差は65 kg程度です。年毎の季節の周期性は再現されていますが、よく漁獲される冬場で予測値が、200~300kgで頭打ちして実績値より低くなっています。特に豊漁となった2011年、2013年、2014年では誤差が目立ちます。水温以外の予測材料を加えるなどモデルの改良が必要です（図2）。

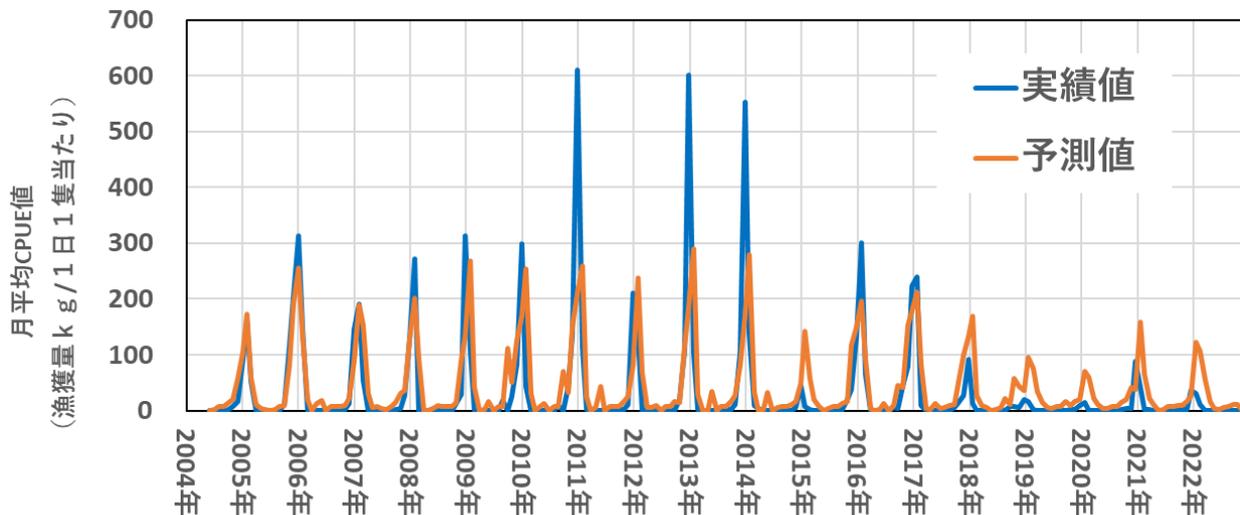


図 2. 紀伊水道で操業する小型底曳網漁船の1ヶ月先のシリヤケイカのCPUE(1日1隻当たり漁獲量 kg)を予測した結果

シリヤケイカの長期予測として考えられる指標

先の予測モデルのために漁獲資料を整理するなかで、半年先の長期予測に使える指標が見つかりましたので、以下に紹介します。シリヤケイカの親イカは、主に5~6月に播磨灘や大阪湾の沿岸で産卵し、1年の寿命を終えます。その後、孵化した子イカは、夏~秋まで同じ海域の沖合で成長します。水温が12~14度に低下する12月頃に鳴門海峡や友ヶ島水道を經由して相対的に水温が高い紀伊水道の深場へ避寒のために移動します。1~3月

には紀伊水道中南部で越冬し、水温が上昇する 5～6 月には産卵のために播磨灘や大阪湾へ移動します（堀木 1977、上田 2011）。

こういった回遊経路（図 3）を踏まえて、漁獲資料がまとまっている 2013 年から 2022 年までの 10 年間について、播磨灘の産卵場沖を操業海域とする北灘漁協（粟田）所属の小型底曳網漁船 5～7 月のシリヤケイカ総漁獲量と紀伊水道の越冬場で操業する椿泊漁協所属の小型底曳網漁船 9 月～翌 4 月のシリヤケイカ総漁獲量の関係を示しました（図 4）。北灘で 20 キロ前後を越える漁獲がある年の冬の椿泊では 100 トンを越える漁獲が期待できます。

北灘の小型底曳網漁船で 5～7 月に漁獲されるものは、漁獲量から見て混獲と考えられ、産卵のために紀伊水道から戻ってきた親イカです。そのため、親イカが多く混獲される年は、加入量も多くなり紀伊水道で越冬する個体数も多く豊漁になると思われます。残念ながら、2023 年は北灘漁協の総漁獲量は 1.7 キロで、紀伊水道での小型底曳網漁船の今漁期（2023 年 9 月～2024 年 4 月）の豊漁は期待できない予測です。

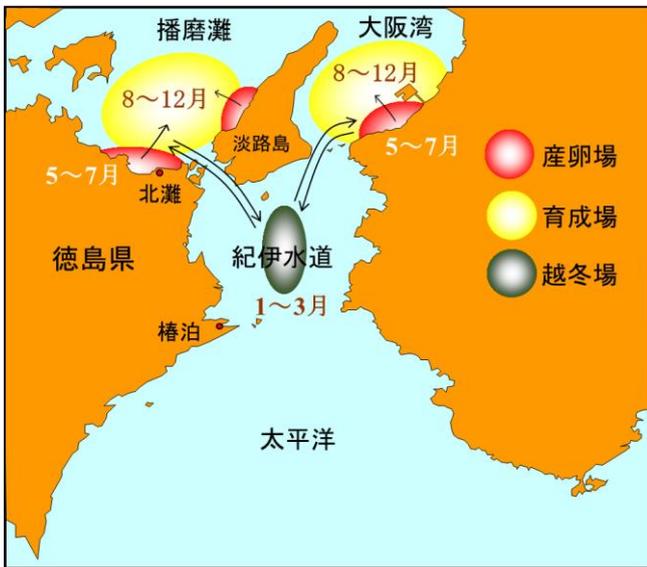


図 3. 瀬戸内海東部海域におけるシリヤケイカの回遊経路図（上田 2011 を改変）

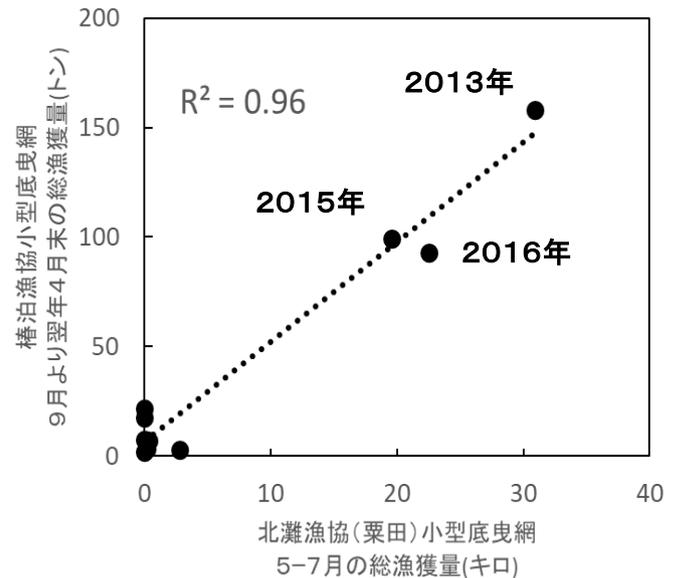


図 4. シリヤケイカ長期予測の指標に期待できる播磨灘と紀伊水道での漁獲関係（2013-2022 年）

カタクチイワシ予測モデルで予測材料に加えた産卵量

水温に敏感なシリヤケイカと異なり、カタクチイワシシラスは、CPUE と水温だけでは 1 ヶ月先の予測は不可能でした。そのため、予測の材料にカタクチイワシの産卵量を加えました。本県の調査船「とくしま」による毎月の定線観測調査では沿岸 26 地点でプランクトンネットの鉛直曳による卵稚仔調査（アジ、サバ、イワシ類を対象）を行っています。球形の卵を産む魚が多いなかで、カタクチイワシの卵は、長径 1.4～1.6mm、短径 0.6～0.7mm と特徴ある楕円形です。水温 20 度内外で、約 30 時間で孵化（内田ほか 1958）。孵化してから約 30～40 日で体長 3 cm 前後となり、シラスで漁獲されます。

同様の卵稚仔調査は、他府県でも行っており、その結果は、（社）漁業情報サービスセンター（略称:JAFIC）に設置された資源評価情報システム（fresco:Fishery Resource Conservation）に登録され、関係府県は随時参照できます。



写真 2. 調査船「とくしま」でのプランクトンネット調査(左):最深地点では 150m の鉛直曳。採集され選別したカタクチイワシの卵(右):特徴のある楕円形で、中央に球状で黒く見えるのが胚体(魚体へ成長)、いろいろな成長段階の卵が見られます(背景の格子は 5mm)。

本県周辺の瀬戸内海と太平洋南区の 2022 年 3 月と 8 月の 15 分メッシュ区分のカタクチイワシ卵の 1m²あたり密度を見ると、3 月は比較的水温の高い外海で産卵は行われています。水温が上昇する 8 月には瀬戸内海全域で産卵が行われます(図 5)。卵数法(渡辺 1983)により、水温を考慮したふ化日数、生残率などから推定される海域全体の産卵量は 3 月で 7 兆粒、8 月で 487 兆粒と計算されます。

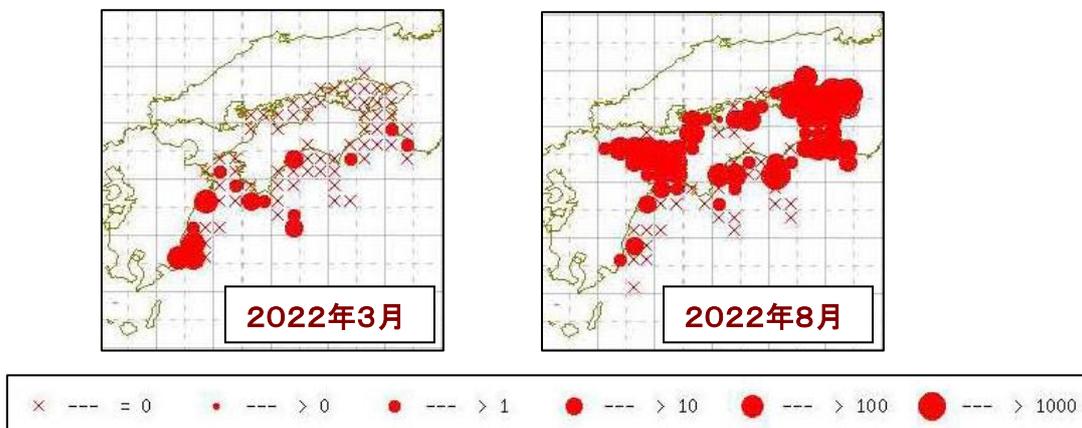


図 5. fresco 登録された近隣府県の卵稚仔調査結果
カタクチイワシ卵の 1m²密度(15 分メッシュ区分で計算)

開発中のカタクチイワシシラス漁海況予測モデル

当初のカタクチイワシ予測モデルは、シリヤケイカ予測モデルを改変して、「ある月までの 5 ヶ月の各月の平均 CPUE (1 日 1 統当たり漁獲量 kg)」や「ある月までの 5 ヶ月の紀伊水道 10m 層平均水温」を予測材料に加えていました。閉漁期の冬場には、CPUE 値はゼロ(正確には、「月平均 CPUE」は、「その月の総漁獲量 kg」/「その月の総出漁日数」であり、分子の「その月の総漁獲量」は 0、分母の「その月の総操業日数」も 0 となるので 0/0 で「不定」)となります。その CPUE を予測材料に加えると、盛漁期の夏場の CPUE の山を予測できない結果となり、予測材料から外しました。現在は「ある月までの 11 ヶ

月の各月の産卵量」から、「翌月の平均 CPUE（1日1統当たり漁獲量 kg）」を予測するモデルで開発を進めています。

和田島漁協の1997年から2022年までの26年間の漁獲資料のうち、CPUE値がゼロとなる月を除いたもの（先と同じ0/0で「不定」）を訓練データとして学習させた結果を図6に示した。本モデルでの実績値と予測値との平均誤差は294 kg程度です。この26年間で和田島漁協に所属する船曳網の経営体数は、パッチ網業界の「とも補償による減船」の動きもあり、1997年の44経営体から2022年の25経営体へと大幅に減少しています。その影響を考慮するために経営体数（統数）も予測材料に加えたモデルも作成しましたが、予測の精度向上には寄与しませんでした。

深層学習は従来の枠組みに収まらない方法で性能を発揮しているため、従来の理論はその枠組みを十分に説明できていない（今泉2021）。こういったことから、経営体数を考慮することが予測精度向上に寄与しない理由はわかりません。減船の直接的な効果は「残存経営体に対する資源分配量の増加」です。しかし、その効果は豊漁時に発揮されるものではなく、不漁時に発揮されるものなのでしょう。

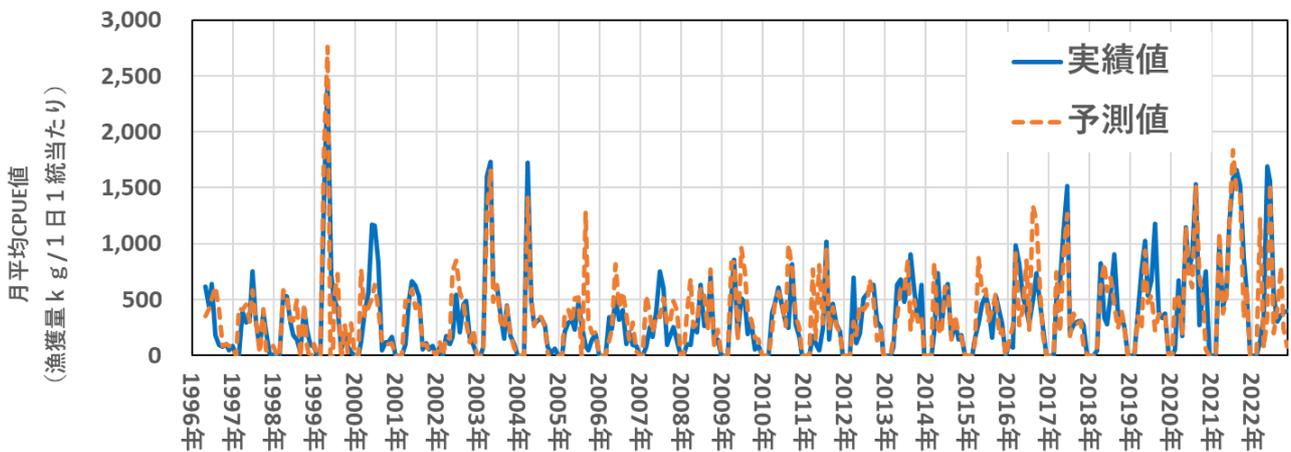


図6. 紀伊水道で操業する船曳網漁船の1ヶ月先のカタクチイワシシラスのCPUE(1日1統当たり漁獲量 kg)を予測した結果

今後の進め方

シリヤケイカは2017年以降、まとまった漁獲はありません。今後、播磨灘の小型底曳網漁船による5-7月での混獲が目立ち、紀伊水道で好漁が期待できる漁期には、今回のモデルを改良して1ヶ月先の漁獲量を予測していきます。一方、カタクチイワシシラスで現在の予測モデルを実際に運用するには、産卵量の集計に時間がかかるので、本県だけの卵稚仔調査結果などを使用したモデルなどに改変する必要があります。

和田島地区に多い「シラスを自家加工」する経営形態のメリットを活かすには、1経営体当たり年間100トンの漁獲が必要です（齋浦ほか2000）。1ヶ月先の漁獲量を精度良く予測できれば、出・休漁や出漁後の魚群探査の判断に利用することで、効率の良い操業が期待できます。新たな予測材料を追加しての予測精度の向上や1ヶ月より先の予測の可能性も検討していきます。予測の有効性が認められれば、ホームページなどで予測結果を提供します。

最後に

日頃より県下各漁業協同組合には水揚げ資料を提供いただき、感謝申し上げます。このなかから、今回は北灘漁協、和田島漁協、椿泊漁協の資料を使用させていただきました。こ

の研究では、1995～2022年に我が国太平洋岸で行われた産卵調査を含む卵稚仔データベース (Oozeki et al. 2007) を利用させていただきました。データの利用をご快諾いただいた水産庁増殖推進部漁場資源課、国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター 浮魚資源部ならび近隣府県 (和歌山県、大阪府、兵庫県、岡山県、広島県、山口県、香川県、愛媛県、福岡県、大分県、高知県、宮崎県) の御担当者には、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 今泉政允. 2021. 深層学習の原理に迫るー数学の挑戦. 岩波科学ライブラリー(303). 東京, 116
- 上田幸男. 2011. シリヤケイカの好漁と漁場形成. 徳島水研だより(79), 徳島, 4-7
- 渡辺泰輔. 1983. 卵数法. 「水産資源の解析と評価」(石井丈夫編). 恒星社厚生閣, 東京, 9-29
- 内田恵太郎ほか. 1953. カタクチイワシ. 「日本産魚類の稚魚期の研究 第1集」(九州大学農学部水産学第二教室). 金子書店, 東京, 17-18
- 堀木信男. 1977. シリヤケイカ. 関西国際空港漁業影響環境調査, 漁業生物班資料 1, 水産資源保護協会, (昭和 51 年度) 341-356
- 齋浦耕二・婁小波. 2000. 徳島県における瀬戸内海機船船びき網の経営特質と存立条件. 地域漁業研究(41), 71-94