

養殖場内の海水温予測モデルにおける 要素と入力長の精度に及ぼす影響

The Effects of Element and Input Length on Accuracy in Aquaculture Seawater Temperature Prediction Model

奥野 聖人^{*1}

Masahito Okuno

大塚 孝信^{*2}

Takanobu Otsuka

^{*1}名古屋工業大学

Nagoya Institute of Technology

^{*2}名古屋工業大学大学院情報工学専攻

Department of Computer Science, Nagoya Institute of Technology

Aquaculture is globally important now, and because of the increase of worldwide demand, it will be more essential in the future. To supply stably, appropriate management of farm environment is necessary, and prediction of seawater temperature is important too. Therefore, to improve accuracy of seawater temperature prediction model is strongly needed. In this paper, we experiment prediction models that element and input length are different for the improvement of accuracy. From the experiment results, effective element and input length are revealed, and more improvement of prediction accuracy is expected in future.

1. はじめに

養殖業は現在、世界的に重要である。国内では海面漁業生産の約24%を養殖業が占めており[1]、世界でも魚介類消費量の増加や漁業生産の頭打ちなどにより養殖業需要は急激に増加している[2]。養殖を行う際、養殖場内の環境管理が重要となる。養殖では貝は筏に吊るされた籠の中など一定の位置で育成されるため自らの意思で移動することができず、赤潮や海水温の変動が発生した場合にはへい死など大きな被害が発生する。例として、1996年に代表的な真珠養殖場である三重県英虞湾にて感染症による日本産アコヤ貝の大量死が発生している。そのため、安定した供給を行うためには養殖場内の環境管理が正確に行われる必要があり、養殖場内の海水温変化を正確に予測することが重要となる。本研究では養殖場内の海水温予測の更なる精度向上を目的とし、予測モデル構築時の要素と入力長が精度に及ぼす影響を実験により明らかにする。

本論文の構成を示す。まず、2章で養殖の例として、真珠養殖における水温管理の重要性と現状の課題について述べる。次に、3章で養殖場内の海水温予測手法について述べる。次に、4章で予測モデル構築時におけるデータの要素と入力長が精度に及ぼす影響について述べる。最後に、5章で本稿のまとめと今後の課題を示す。

2. 真珠養殖と水温管理

2.1 真珠養殖の歴史と現状

真珠は貝から採取される宝石の1種であり、その希少性から世界各地で珍重されてきた。養殖が行われる以前、天然の真珠は1万個の貝から数粒程度しか産出されず、大粒や真円の真珠は非常に価値のあるものであった。そのため古くから世界各地で真珠養殖に関する研究が行われており、13世紀の中国の仏像真珠などが例に挙げられる[3]。1893年(明治26年)に御木本幸吉により世界で初めて半円真珠の養殖に成功し、その後1904年には見瀬辰平・西川藤吉による真円真珠の養殖の成功、1920年代には養殖技術が確立され、養殖真珠が世界に供給されるようになった。その後、1950年代には世界の9割のシェアを日本が持つようになり、三重県、和歌山県、長崎県をはじめとして

日本の輸出産業の一端を担った。しかし、近年では世界各地で真珠養殖が行われるようになり、日本のシェアは年々減少している。日本の真珠養殖復興について、2017年6月7日に真珠振興法[4]が施行され、日本国として真珠養殖を補助する動向にある。また、日本国内において真珠養殖生産高の最も高い三重県では、1996年に発生した感染症をきっかけに、環境変化に強い品種改良を目的として、日本産アコヤ貝と日本産以外のアコヤ貝を交配させた貝を養殖に用いており、現在養殖されているアコヤ貝はほぼ交配種となっている[5]。しかし、交配種には日本産アコヤ貝と比較して以下のような問題がある。

- 1級品と評価される割合が低い(品質が悪い)
- 性質が多様であり、養殖管理の手段が複雑である(必要数以上の飼育が必要)
- 生殖巣に日本産アコヤ貝に見られない卵細胞の混入がある(品質低下の原因)
- 日本産特有の遺伝情報が失われる(種の保存)

以上の問題から、環境変化には弱い以前の日本産アコヤ貝を用いた真珠養殖に回帰することで日本産真珠のブランドイメージと売上を復興することが進められている。しかし、日本産アコヤ貝は動物性プランクトンの大量発生によって引き起こされる赤潮や水温変化によるへい死率が交配種と比較して高く、交配種以上に水温・水質管理を適切に行う必要がある。

2.2 水温管理の重要性と課題

真珠養殖では母貝から真珠が採取されるまでに、数多くの作業が必要となる。稚貝の育成から始まり、真珠養殖に利用できる母貝に育つまでには3年程度の育成が必要となる。その後、人の手により真珠核が母貝の中に挿入され、更に半年以上の養成を経て養殖真珠が採取される。このように真珠が生産されるまでには3~4年程度かかり、一般的に魚類などに比べ長期間の管理が必要となる。また、アコヤ貝の適正水温は冬季は10℃以上、夏季は25℃以下であり、冬季は越冬場所で冬を越し、夏季は水温の急上昇が予想される場合には筏を水温の低い場所に移動するといった対応が行われる。その際、水温変化の正確な予測が重要となるが、現状養殖従業者の経験と勘によって行われており、従業者の高齢化や引退により予測技術が失われる恐れがあり、真珠養殖の持続可能性が問題となっている。

連絡先: 大塚孝信, 名古屋工業大学, 愛知県名古屋市昭和区御器所町, 052-735-5287, otsuka.takanobu@nitech.ac.jp

海水温予測に関して、海面水温や海流の予測は一般に行われている [6]。しかし、養殖の場合海産物は主に水深 2m~10m 程度で育成され、この部分の海水温が重要となる。真珠養殖の場合もアコヤ貝は水深 2m 付近で育成されるため、一般の水温予測を養殖に利用することは困難である。また、予測範囲の問題も存在する。一般の水温予測は広範囲を対象としているが、例として本研究の実験場である三重県英虞湾はリアス式海岸の特徴があり、同じ湾内でも数℃水温に差が見られる場合もある。そのため、養殖には実際の養殖箇所周辺の水温収集や予測が必要となる。また、三重県真珠養殖協議会では 2007 年より「三重県真珠養殖関連漁場 水温モニタリングシステム」[7] にて図 1 の示す養殖場 4 箇所それぞれ水深 0.5m, 2.0m, 5.0m, 8.0m の 4 地点の水温を計測しており、養殖従業者に水温データを提供している。本研究ではこれらの観測データを用い、予測モデルの構築を行なう。

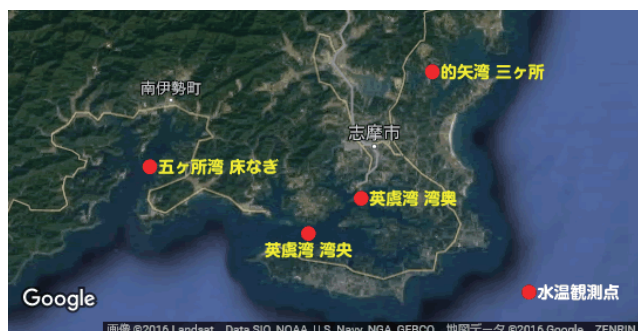


図 1: 三重真珠養殖場の水温観測地点

3. 観測データを用いた海水温予測

3.1 海水温データと気象データの取得

本研究では三重県真珠養殖場を実験場に設定し、真珠養殖場 4 箇所を対象に予測を行なう。海水温データに関しては、先行研究 [8] において図 2 のような観測装置を用いて養殖場の海水温データをメールにて定期的に取得するシステムが構築されており、これを用いている。

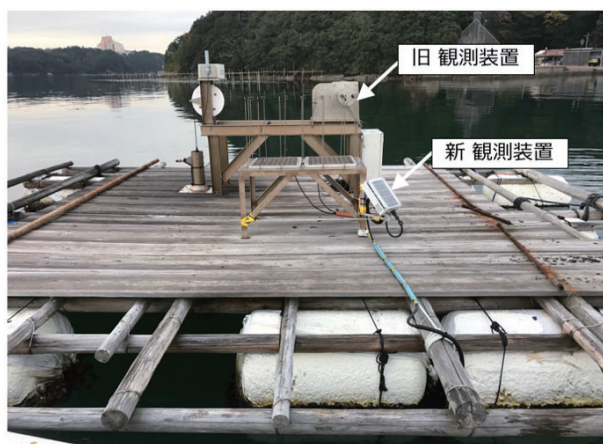


図 2: 養殖場内に設置された観測装置の外観

気象データに関しては、DarkSky[9] の API を用いて養殖場周辺の気象データを取得している。DarkSky は世界各地の気象データを提供するサービスであり、詳細な位置指定と細かい

時間単位での取得が可能となっている。以下に DarkSky の特徴を示す。

- 世界各地の気象データを、位置を緯度経度で指定可能
- 天気予報は 1 週間先まで、過去の気象データは数十年前まで取得可能
- 1 時間毎や 1 日毎など、様々な形のデータを JSON 形式で取得可能

3.2 海水温予測モデルの構成

予測モデルの構築を行う際、学習のアルゴリズムとして Gated Recurrent Unit (GRU) を用いている。GRU は Recurrent Neural Network (RNN) の 1 種で、代表的な RNN のモデルである LSTM と同様に学習時に過去の情報を考慮することが可能かつ、モデルがシンプルのため LSTM に比べ計算速度が早いという特徴がある。先行研究 [8] では Random Forest が用いられていたが、海水温予測を行う際に重要となるのは直前の海水温や気象の変化であり、Random Forest など単に過去データの組み合わせを学習するアルゴリズムではこの直前の変化を学習することは困難である。一方、GRU ではデータを可変長の時系列の形で受け取るため直前の変化を学習することが可能であり、高精度な予測を実現している。

また、予測モデルを翌日までの 1 時間毎の予測を行う短期予測モデルと、1 週間先までの 1 日毎の予測を行う長期予測モデルの 2 種類に分けて構築を行う。実運用時を想定した場合、予測が細かい時間単位であると 1 日の間の海水温変化が可視化され、養殖従業者が利用しやすくなることや予測精度の向上が期待される。しかし、予測が長期間になるに連れ 1 日の間の変化を予測することは困難となるため、長期的な予測を細かい時間単位で行うことは現実的ではない。そのため、予測モデルを短期と長期の 2 種類に分けることにより、直近の予測は細かい時間単位での取得を可能とする一方、長期的な予測も安定した精度で行うことが可能となり、実用的な予測を実現している。

3.3 海水温予測の流れ

予測は、3.1 節で述べた手法により取得した海水温データと気象データを学習済みの予測モデルに与え実行し、結果をデータベースに追加する。また、図 3 のような Web 上で現在の海水温や予測水温を確認可能なシステムを現在構築しており、予測結果の可視化を今後行う予定である。

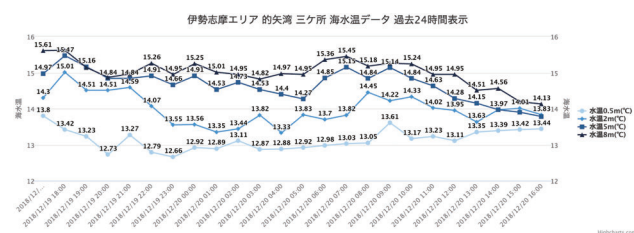


図 3: 予測結果等を表示する Web ページ

3.4 現状の予測精度

上記の手法を用いて試作した海水温予測モデルの実験結果を示す。実験は各地点 1 年分の海水温データを用いて行われ、表 1 は短期モデルの平均誤差、表 2 は長期モデルの平均誤差を表している。予測精度の指標として、実際の養殖従業者から誤差 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内かつ 1 週間程度先のニーズがあることが仙台管

区気象台の報告 [10] で述べられている。そのため、現状の予測モデルは全ての地点において平均誤差は十分な精度を示しており、実運用時も問題ないと考えられる。しかし、現状のモデルは外れ値など海水温の急変動に関しては精度が不十分であり、この部分に関して改善が必要である。現状のモデルは予測に用いるデータの要素や入力長に関して十分に考慮されておらず、これらを適切なものにすることで更なる精度向上が期待される。4章ではモデル構築時の要素と入力長が精度に与える影響について実験を行なった結果について述べる。

地点	0.5m	2.0m	5.0m	8.0m
五ヶ所	0.385	0.275	0.236	0.245
的矢	0.385	0.282	0.233	0.263
英虞 湾奥	0.306	0.231	0.219	0.259
英虞 湾央	0.237	0.209	0.189	0.139

表 1: 短期モデルの平均誤差 (°C)

地点	0.5m	2.0m	5.0m	8.0m
五ヶ所	0.431	0.445	0.443	0.461
的矢	0.548	0.483	0.492	0.512
英虞 湾奥	0.385	0.409	0.444	0.491
英虞 湾央	0.328	0.316	0.256	0.259

表 2: 長期予測モデルの平均誤差 (°C)

4. モデル構築時のデータの要素と入力長

4.1 実験設定

予測モデルを構築する際、モデルに与えるデータの要素と入力長が精度に大きく関わってくる。そのため、本研究ではこれらが予測精度に及ぼす影響について実験を行なった。実験方法として、水温データ、気象データ毎に要素や入力長の異なるモデルを複数用意し、それぞれの精度を比較した。比較は真珠養殖場のうち海水温変化が標準的な的矢湾を対象とし、短期・長期モデル毎に 1 年分の海水温データを用いて平均平方二乗誤差 (RMSE) を算出している。

4.2 要素毎の比較

まず、データの要素毎の比較について示す。水温データは予測水深のデータのみを用いた場合と、予測水深に加え同じ湾内の他の水深のデータも合わせて用いた場合の 2 種類の比較を行った。気象データは予測対象日の気象データと、予測日直前の気象データを用いた場合を比較し、長期モデルに関しては両方を合わせて用いた場合も追加して行なっている。表 3 に短期モデルの結果、表 4 に長期モデルの結果を示す。表の上部分は水温データの比較、表の下部分は気象データの比較を表している。

データの要素	0.5m	2.0m	5.0m	8.0m
予測地点のみ水温	0.587	0.446	0.383	0.423
予測+他の地点水温	0.592	0.409	0.361	0.422
予測対象日気象	1.215	1.196	1.234	1.199
予測日直前気象	1.142	1.154	1.22	1.138

表 3: 的矢湾での短期モデルの要素別 RMSE

データの要素	0.5m	2.0m	5.0m	8.0m
予測地点のみ水温	1.22	0.934	0.915	0.948
予測+他の地点水温	1.0	0.791	0.772	0.818
予測対象日気象	1.027	1.018	1.012	1.017
予測日直前気象	1.16	0.916	0.932	0.883
予測対象+直前気象	0.873	0.825	0.808	0.838

表 4: 的矢湾での長期モデルの要素別 RMSE

4.2.1 短期モデルの要素

まず短期モデルの比較についてだが、水温データに関しては 0.5m, 8.0m 地点には差はないが、2.0m, 5.0m 地点に関しては他の水深も合わせて用いた場合に RMSE の値が減少している。真珠養殖の場合、アコヤ貝は主に水深 2.0m 付近で育成されるためこの部分の予測精度は重要となる。そのため、短期モデルの水温データは予測地点に加え他の水深のデータも合わせて用いるべきだと考えられる。

気象データに関しては、どの水深においても予測日直前のものを用いた場合の方が RMSE の値が小さくなっている。これは気象条件の影響が水温変化に表れるまでには多少時間がかかることが原因であると考えられ、今回の短期モデルのように翌日など短い期間の予測を行う際には予測日直前の気象データを用いることで精度が向上すると考えられる。更に、予測対象日の気象データを用いる場合、予測の実運用時には天気予報データが用いられることとなる。この場合天気予報自体の精度の問題もあり、検証時に比べ精度が大きく減少する可能性がある。それに対し直前のデータを用いる場合にはこのような問題を考慮する必要がなく、実運用時も検証時と同様の精度で予測を行うことが可能となる。そのため、短期モデルの気象データは予測日直前のものが良いと考えられる。

4.2.2 長期モデルの要素

次に長期モデルの比較についてだが、水温データに関しては他の地点も合わせて用いた場合の RMSE の値が各水深大きく減少している。これは長期モデルの場合用いられるデータが日平均となるため、予測地点のみのデータを用いる場合には予測に重要な直前の水温データが不十分となることが原因だと考えられる。そのため、長期モデルの水温データは予測地点と他の水深を合わせて用いるべきだと考えられる。

気象データに関して、まず上 2 つの比較について述べる。0.5m 地点に関しては予測対象日のデータを用いる場合の精度が高く、その他の地点に関しては予測日直前のデータを用いる場合の精度が高いという結果となっている。長期モデルなど予測が長期にわたる場合、予測対象日が離れるほど影響が弱くなるため、直前のデータのみで予測することは困難となる。そのため、特に気象の影響を受けやすい海面付近の 0.5m 地点の精度がこの場合悪くなったと考えられる。しかし、その他の水深に関しては予測対象日のものを用いた場合に比べ RMSE の値は小さく、どちらの要素を用いる場合にも利点と欠点が存在する。そのため、長期モデルに関しては 2 つを合わせて用いたモデルを作成し、その場合の RMSE の値も算出した。結果として、片方ずつ用いた場合に比べ各地点 RMSE の値が大きく減少していることが表から分かる。このように気象データに関しては両方を合わせて用いることで双方の利点が反映され精度の向上が期待できるため、長期モデルの気象データは予測対象日と直前のものを合わせたものが良いと考えられる。

4.3 入力長毎の比較

次に、データの入力長毎の比較について示す。表5に短期モデルの結果、表6に長期モデルの結果を示す。要素の場合同様、表の上部分は水温、下部分は気象の場合を表している。

データ入力長	0.5m	2.0m	5.0m	8.0m
8 時間前水温	0.614	0.407	0.36	0.406
16 時間前水温	0.581	0.405	0.365	0.426
24 時間前水温	0.592	0.409	0.361	0.422
8 時間前気象	1.22	1.197	1.224	1.205
24 時間前気象	1.142	1.154	1.22	1.138
48 時間前気象	1.059	1.102	1.04	1.102
72 時間前気象	1.069	1.027	1.08	1.025

表 5: 的矢湾での短期モデルのデータ入力長別 RMSE

データ入力長	0.5m	2.0m	5.0m	8.0m
3 日前水温	1.133	0.847	0.83	0.861
7 日前水温	1.0	0.791	0.772	0.818
14 日前水温	0.96	0.754	0.755	0.772
21 日前水温	0.933	0.764	0.777	0.794
3 日先気象	1.131	1.05	1.02	1.08
5 日先気象	1.1	1.044	1.01	1.039
7 日先気象	1.027	1.018	1.012	1.017
7 日前気象	1.16	0.916	0.932	0.883
14 日前気象	1.032	0.846	0.83	0.84
21 日前気象	0.979	0.811	0.798	0.787

表 6: 的矢湾での長期モデルのデータ入力長別 RMSE

4.3.1 短期モデルの入力長

まず短期モデルの比較についてだが、水温データに関しては8時間前から16時間前に増やした場合 RMSE の値は全体的に小さくなっているが、16時間前と24時間前では差が見られない。そのため海水温データに関しては16~24時間前で十分であると考えられる。

気象データに関しては48時間前までは期間が長くなるにつれどの水深も RMSE の値が減少しているが、72時間前では値が増加している地点も見られる。そのため気象データは海水温に比べ長期間のものをを用いる方が良いと考えられる。しかし、72時間前では精度が悪くなる地点が存在することからデータを長期にする場合には過学習などに注意する必要がある。

4.3.2 長期モデルの入力長

次に長期モデルの比較についてだが、水温データに関しては14日前までは期間が長くなるにつれ各地点 RMSE の値が減少しているが、21日前では値が増加している地点も見られる。そのため海水温データは14日以上データを用いると良いと考えられるが、この場合も過学習に注意する必要がある。

次に気象データに関してだが、予測日以降のデータの比較と予測日以前のデータの入力長について比較する。まず予測日以降に関しては、5.0m 地点ではほぼ差は見られないが、その他の地点では予測日が長くなるにつれ RMSE の値が減少しており、特に気象の影響を受けやすい0.5m 地点では値が比較的大きく減少していることが分かる。そのため、予測日以降の気象データは長期のものが良いと考えられる。次に予測日以前に関してだが、この場合21日前までを用いたモデルの RMSE の値が各地点最も小さく、長期的な予測を行う際には数週間前な

どの気象も精度に影響を与えている可能性が考えられる。しかし、短期モデルでは気象データの期間が長くなると過学習の傾向が見られたことから、この部分については更なる検証が必要だと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本論文では、養殖場内の海水温予測モデル構築時におけるデータの要素と入力長が精度に及ぼす影響について示した。実験により、各モデルについて要素と入力長が精度にどのような影響を与えているかが RMSE の値で示され、今後予測精度の更なる向上が期待される。しかし、短期モデルの気象データに関しては RMSE の値が全体的に大きいため、気温と風速以外の要因の調査が必要である。また、今回は的矢湾のみを対象に比較を行なったため、他の湾を予測対象としたモデルを構築する際はその湾の特徴を考慮するなど、柔軟にモデルを構築する必要があると考えられる。今後は本論文の結果の予測モデルへの反映と海水温変化要因の更なる調査を行い、高精度な予測モデル構築実現に向け研究を行う。また海水温予測の可視化部分を実装し、予測の実運用時の検証と評価も合わせて行い、真珠養殖を始め養殖業の更なる発展を支援していく。

参考文献

- [1] 農林水産省, "平成 28 年度 海面漁業生産統計調査" (2016).
- [2] 水産庁, "平成 28 年度 水産白書" (2016).
- [3] 真珠の養殖と加工, <http://www.nihongo.com/aaa/pearl/p2youshoku/p21yoush.htm> (2019/2/14 参照)
- [4] e-Gov 法令検索, "真珠の振興に関する法律 (平成二十八年六月七日法律第七十四号)", https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=428AC1000000074 (2019/2/14 参照)
- [5] NPO 法人水産業・漁村活性化推進機構, "立神地域真珠養殖復興プロジェクト", <http://www.fpo.jf-net.ne.jp/> (2019/2/14 参照)
- [6] 気象庁, "海水温・海流のデータ 海面水温・海流 1 か月予報", <https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/kaikyo/ocean/forecast/month.html> (2019/1/28 参照)
- [7] 三真協, "三重県真珠養殖関連漁場 水温モニタリングシステム", www.ohyamanet.info/~m-shinkyo/index.php (2019/2/14 参照)
- [8] 大塚孝信, 北澤裕司, 伊藤孝行, "持続可能な海産養殖のための海水温予測アルゴリズムの提案", 情報処理学会論文誌ネットワークサービスと分散処理 (59-2) 特集 (2018/02)
- [9] DarkSky, <https://darksky.net/> (2019/2/13 参照)
- [10] 中川憲一, 福田義和, 金子秀毅, 中村寛, 中村辰男, "東北地方の養殖漁業のための沿岸水温予測手法の紹介", 測候時報 第 85 巻 (2018)