

## ノリ養殖育苗期における機械学習を用いた水温予測の予備検討

川村耕平・山田穂高・竹内梨乃

(2025年12月23日受付, 2026年1月14日受理)

## A preliminary investigation of seawater temperature prediction by machine learning for nori culture during autumn season

KAWAMURA Kohei<sup>\*1</sup>, YAMADA Hotaka<sup>\*2</sup>, and TAKEUCHI Rino<sup>\*1</sup>

キーワード: ノリ養殖, 育苗期, 水温予測, 機械学習, ランダムフォレスト

ノリ養殖において水温は重要な環境要因であり, 水温23℃以上でノリ網の張り込みを行って水温降下が遅れた場合に, ノリ葉状体の異常形態や生長不良が発生することが報告されている。<sup>1)</sup> そのため, 張り込み直後の育苗期については, 特に水温に注意して養殖を行う必要がある。愛知県では水温23℃未満を目安として育苗を開始することを推奨しているが,<sup>2)</sup> 近年の気温上昇<sup>3)</sup>の影響により三河湾の秋季の水温は上昇傾向にあり,<sup>4)</sup> 適切な張り込み日の予測が困難になっているため, ノリ養殖育苗期における水温予測技術の開発が求められている。<sup>5)</sup>

真珠養殖においては, 人工知能の分野の一つである機械学習<sup>6)</sup>を用いた水温予測が試みられており,<sup>7)</sup> 同様の

手法はノリ養殖にも適用できる可能性があることから, 本研究では機械学習の1種であるランダムフォレスト<sup>8)</sup>を用いて, ノリ養殖において特に水温が重要な育苗期の水温予測の予備検討を実施した。

## 材料及び方法

## 調査漁場及び漁場の水温データの入手

本研究では, 三河湾北西部の4漁場(図1)において調査を実施した。これらの漁場では地域のノリ養殖業者の有志で構成される西三のり研究会により秋冬期の経年的な水温データが記録されており, そのデータを本研究に活用することとした。各漁場により入手可能なデータ等が異なるため, 以下に詳細を記す。なお, 本稿において水温とは表層水温を示している。

## 味沢漁場

10月~2月に自記式水温計を設置し, 1時間ごとの水温を測定・記録している。また, 漁期中の午前8時~10時頃に水温を研究会員が直接測定している。測定しているデータのうち2015年~2024年の10年分を利用した。

自記式水温計は漁期終了後に回収するため, 学習データや精度の検証には活用できるが, 予測に必要な直近の漁場の水温は研究会員が直接測定したデータのみが利用可能である。研究会員の測定結果と自記式水温計の日平均水温の結果は事前に比較し, 予測に利用するために十分な精度であることを確認した(図2)。

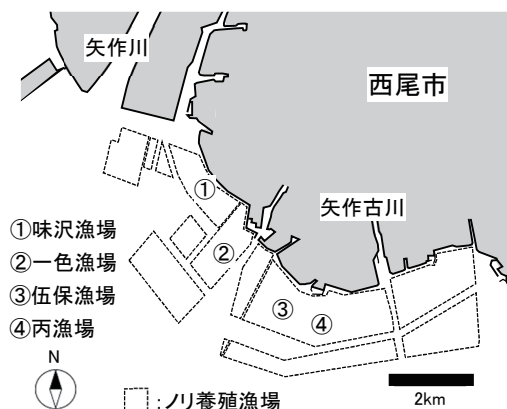


図1 西尾市沿岸域のノリ養殖漁場

\*1 愛知県水産試験場漁業生産研究所 (Marine Resources Research Center, Aichi Fisheries Research Institute, Toyohama, Minamichita, Aichi 470-3412, Japan)

\*2 西三河農林水産事務所水産課 (Nishimikawa Agriculture, Forestry and Fisheries Office of Aichi Prefectural Government, Myoudaijihonmachi, Okazaki, Aichi 444-0860, Japan)

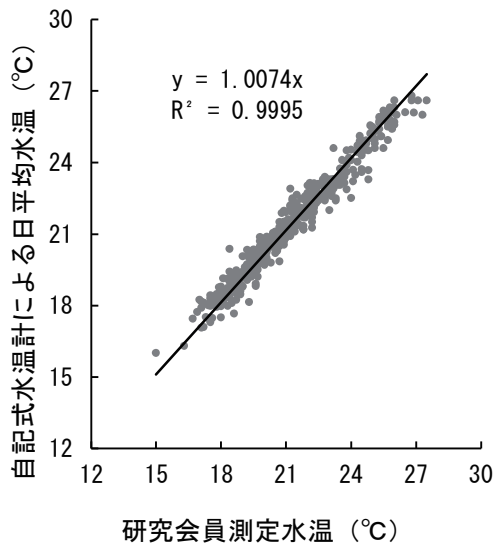


図2 味沢漁場における自記式水温計と研究会員測定水温の比較

### 一色漁場

味沢漁場と同様、自記式水温計を設置している。データは2015年～2017年、2019年～2024年の9年分を利用した。研究会員が直接測定している水温のデータは断続的であり、味沢漁場のように精度の検証はできなかったが、他に直近の漁場の水温を入手する手段がないため、予測に利用した。

### 伍保漁場

2021年からノリ養殖期間中に水温観測装置を設置しており、伍保漁場で操業しているノリ養殖業者はインターネット上で水温をリアルタイムで観測可能である。また、過去の日平均水温も確認できる。データは2021年～2024年の4年分を利用した。

### 丙漁場

味沢漁場、一色漁場と同様に自記式水温計を設置している。データは2021年～2024年の4年分が利用可能であった。直近の漁場の水温を入手する手段がないため、予測には伍保漁場の水温観測装置の値を利用した。

### 気温データの入手

気象庁ホームページの過去の気象データ検索により、2015年～2024年の名古屋における10月～11月の日最高気温と日最低気温のデータを入手した。

(<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>, 2025年3月23日)

### 水温予測プログラムの構築

本研究においては、フリー統計ソフトウェア「R (version4.4.2)」の「randomForest」パッケージを使用し、水温予測プログラムを構築することとした。

学習データのうち教師データは、西三のり研究会から入手した各漁場の自記式水温計あるいは水温観測装置から得られた日平均水温とした。予測日～7日後までの各漁場の日平均水温を予測するため、予測日1～3日前の各漁場の水温及び予測日～7日後までの日最高気温及び日最低気温との関係を学習させた。コードの例を付図1に示した。付図1においては、学習用データセットをData.csvファイルに入力している。

学習期間は10月～11月とし、欠測日等を除いて、味沢349件、一色401件、伍保178件及び丙178件のデータ列を用いて水温予測プログラムを構築した。

### 水温予測

プログラムの流れは図3に示した。予測に必要な予測日1～3日前の漁場の水温は、各漁場の研究会員が予測を希望するタイミングで提供を受けた。日最高気温および日最低気温については、気象庁の2週間気温予報の名古屋の値を参照した。

(<https://www.data.jma.go.jp/cpd/twoweek/?fuk=51>, 2025年10月1日-11月7日)。

付図1においては、予測用データセットをNew.csvとし、出力データセットをExport.csvとしている。

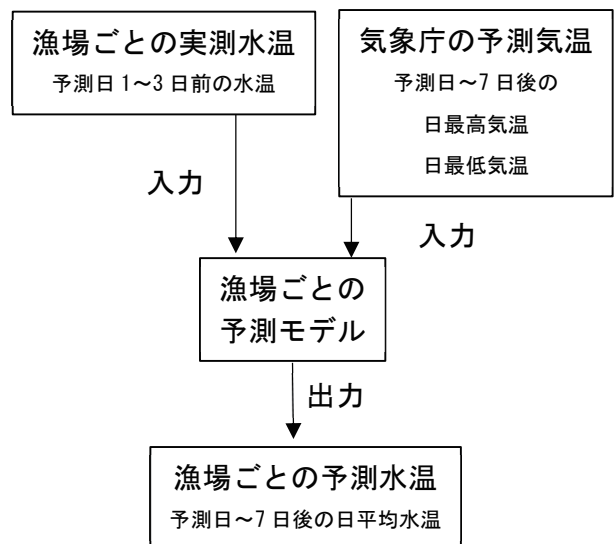


図3 プログラムのフロー図

## 結果

2025年10月6日～11月7日にかけて、味沢12回、一色10回、伍保15回及び丙15回の予測を実施した。予測水温及び実測水温を図4a-dに示した。また、予測水温と実測水温の平均絶対誤差(MAE)を算出し表1に示した。

味沢の予測期間を通したMAEは0.5であった。予測日のMAEは0.4、7日後のMAEは0.8となり、予測日から遠いほど誤差は大きくなる傾向が認められた(表1)。

一色の予測期間を通したMAEは0.7であった。予測日のMAEは0.3、7日後のMAEは0.7となった。5日後のMAEが0.9となり最大であった(表1)。

伍保の予測期間を通したMAEは0.8であった。予測日のMAEは0.4、7日後のMAEは0.9となった。4、5、7日後のMAEが0.9となり最大であった(表1)。

丙の予測期間を通したMAEは0.7であった。予測日～7日後のMAEは0.7～0.8であり、日数ごとの誤差に大きな差は認められなかった(表1)。

表1 予測値と実測値の平均絶対誤差(MAE)

漁場	予測日	1日後	2日後	3日後	4日後	5日後	6日後	7日後	平均
味沢	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.5
一色	0.3	0.5	0.6	0.6	0.7	0.9	0.8	0.7	0.7
伍保	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	0.8	0.9	0.8
丙	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7

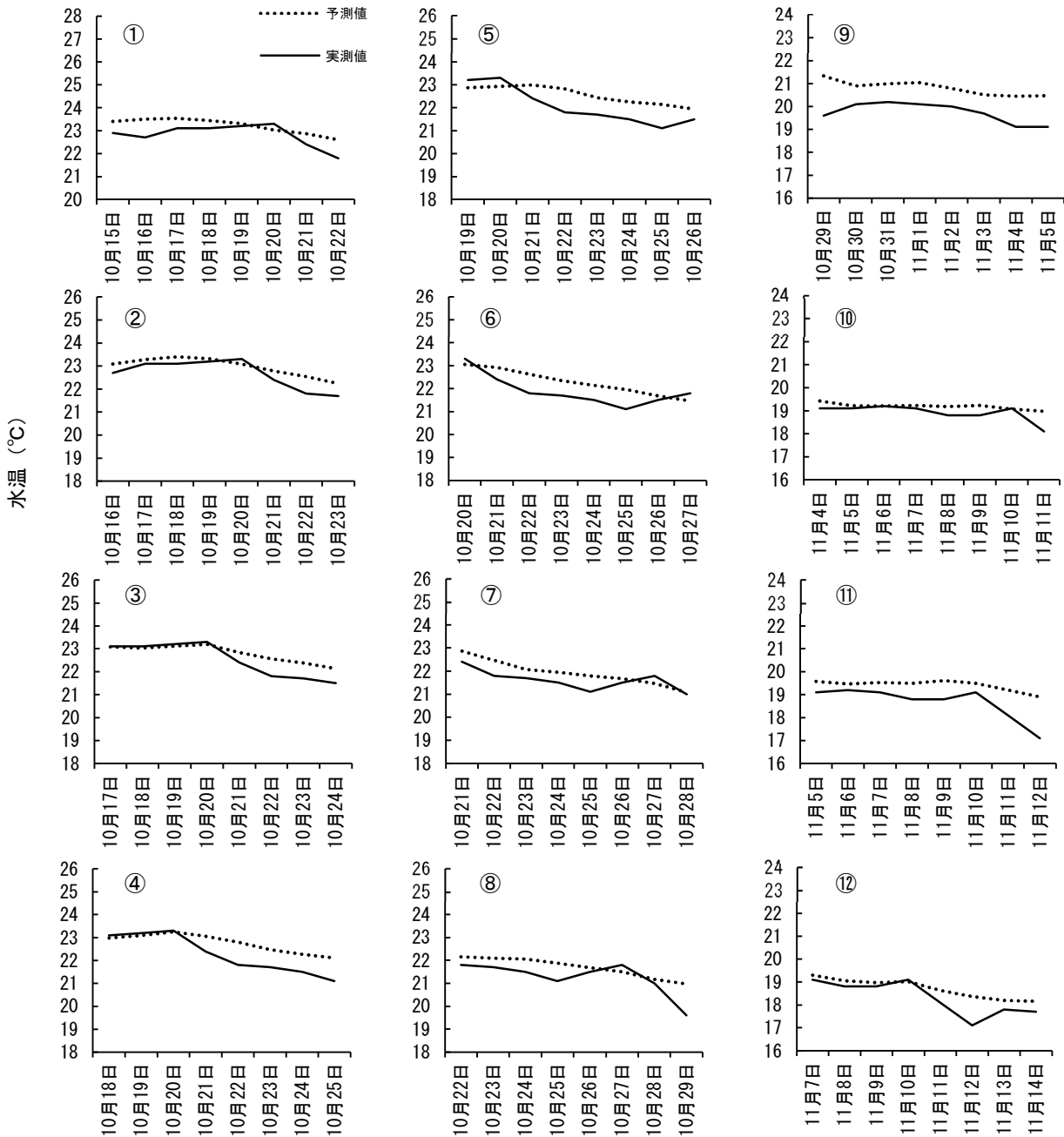


図4a 味沢漁場の水温の予測値と実測値

## 考 察

各漁場の予測期間を通じた MAE は 0.5~0.8 であった。漁場や期間が異なるため直接比較することはできないものの、機械学習により水温予測を試みた他の事例の MAE が 1.1 であったことから、<sup>7)</sup> 一定の精度で予測が可能であったと考えられた。愛知県では水温 23℃未滿を目安として育苗を開始することを推奨しているが、<sup>2)</sup> 近年の気温上昇<sup>3)</sup> の影響により三河湾の秋季の水温は上昇傾向にあり、<sup>4)</sup> なるべく漁期短縮を避けるため適切な張り込み日の予測が重要になっている。本研究で開

発した機械学習による水温予測は、数理計算に基づき水温を予測する手法であり、経験則ではなく、科学的な根拠に基づき水温予測を求めるノリ養殖業者のニーズに応じることができる手法の一つとして、検討の価値があると考えられた。

本手法は予測日 1~3 日前の漁場の水温と気象庁の日最高気温及び日最低気温の予測値を用いて予測を行っているため、天候や潮汐は考慮していない。三河湾は平均水深が 9.2m と浅いため、<sup>9)</sup> 比較的気温の影響を受けやすいと考えられ、このような単純なモデルでもある程度

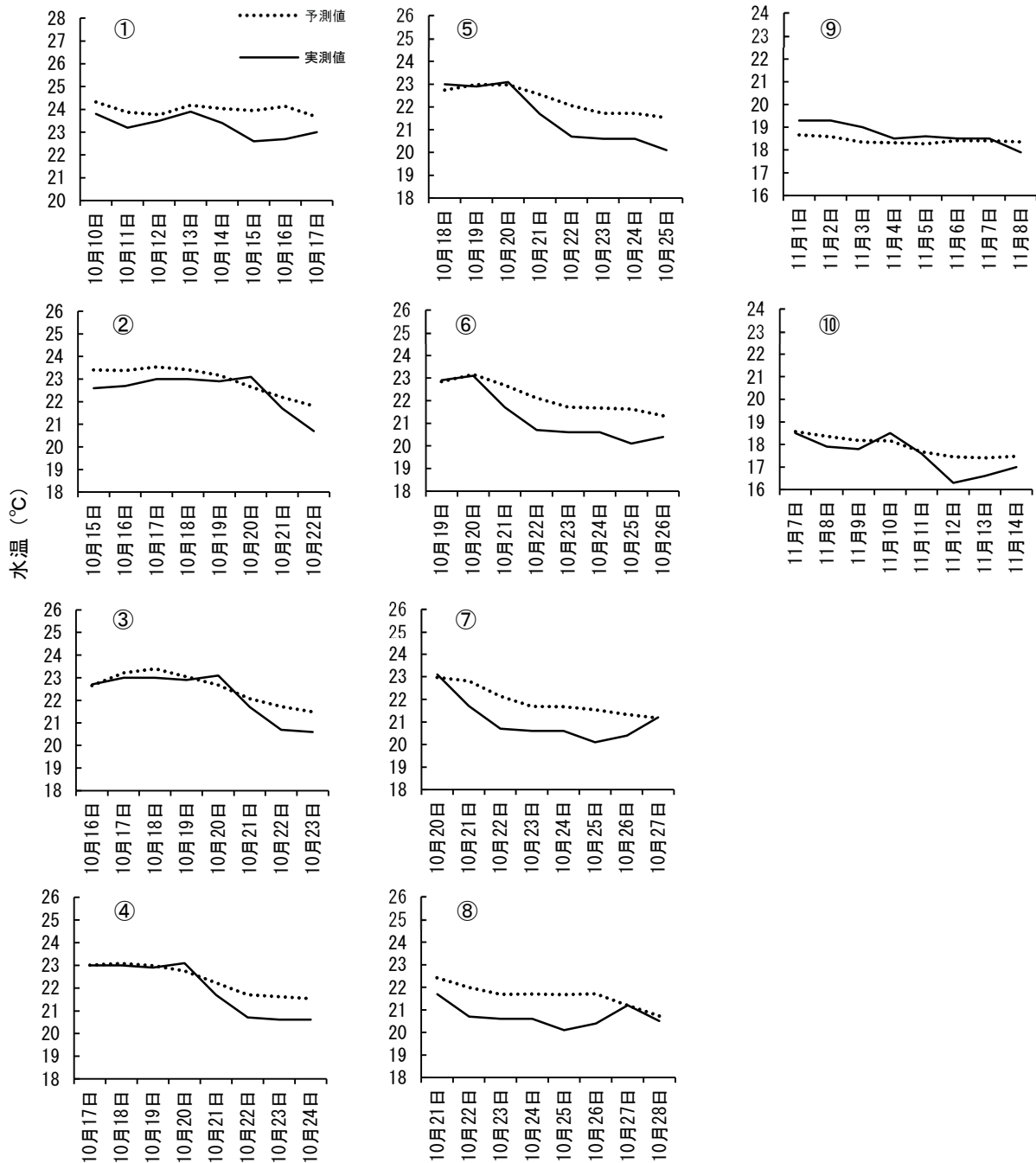


図 4b 一色漁場の水温の予測値と実測値

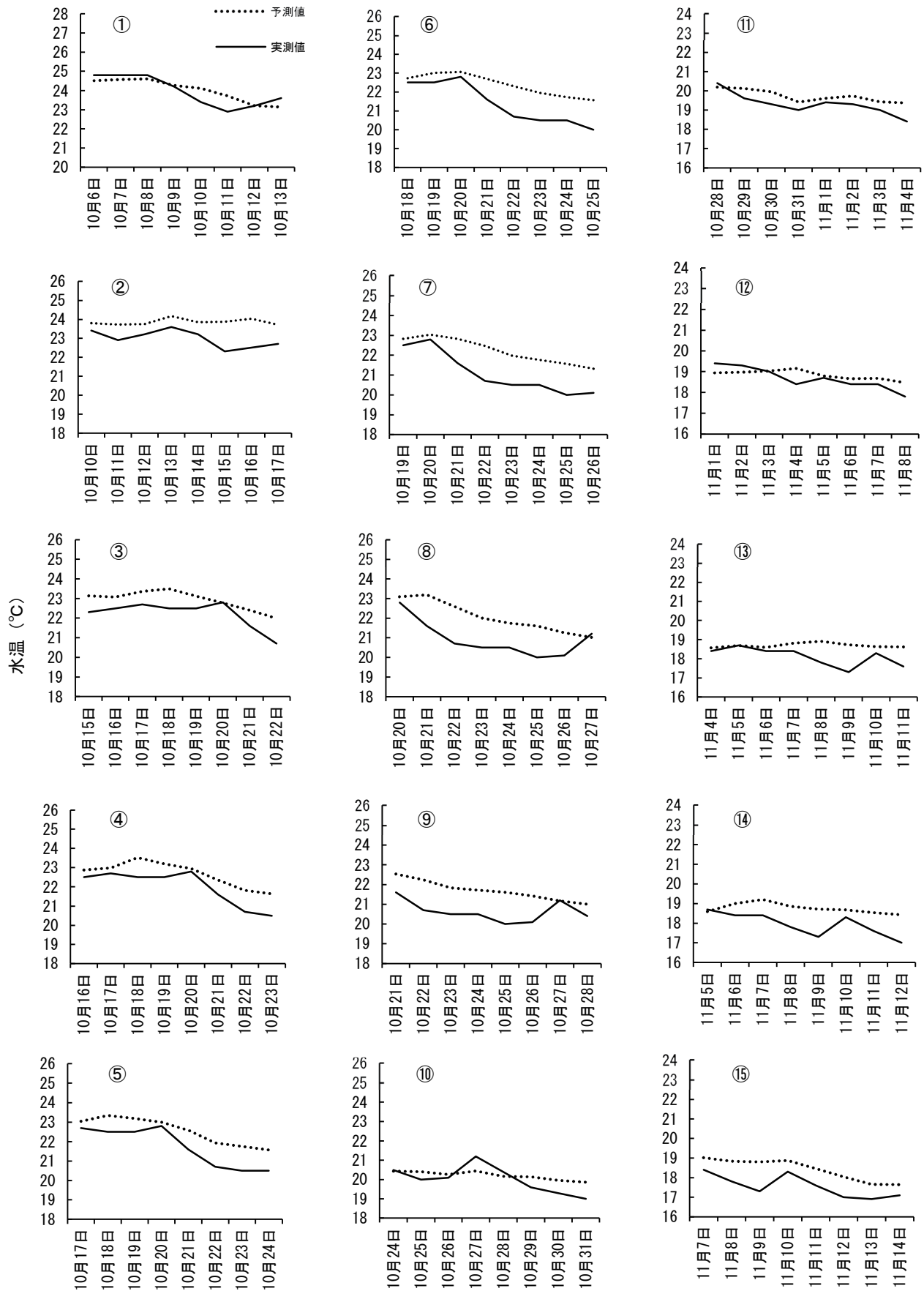


図 4c 伍保漁場の水温の予測値と実測値

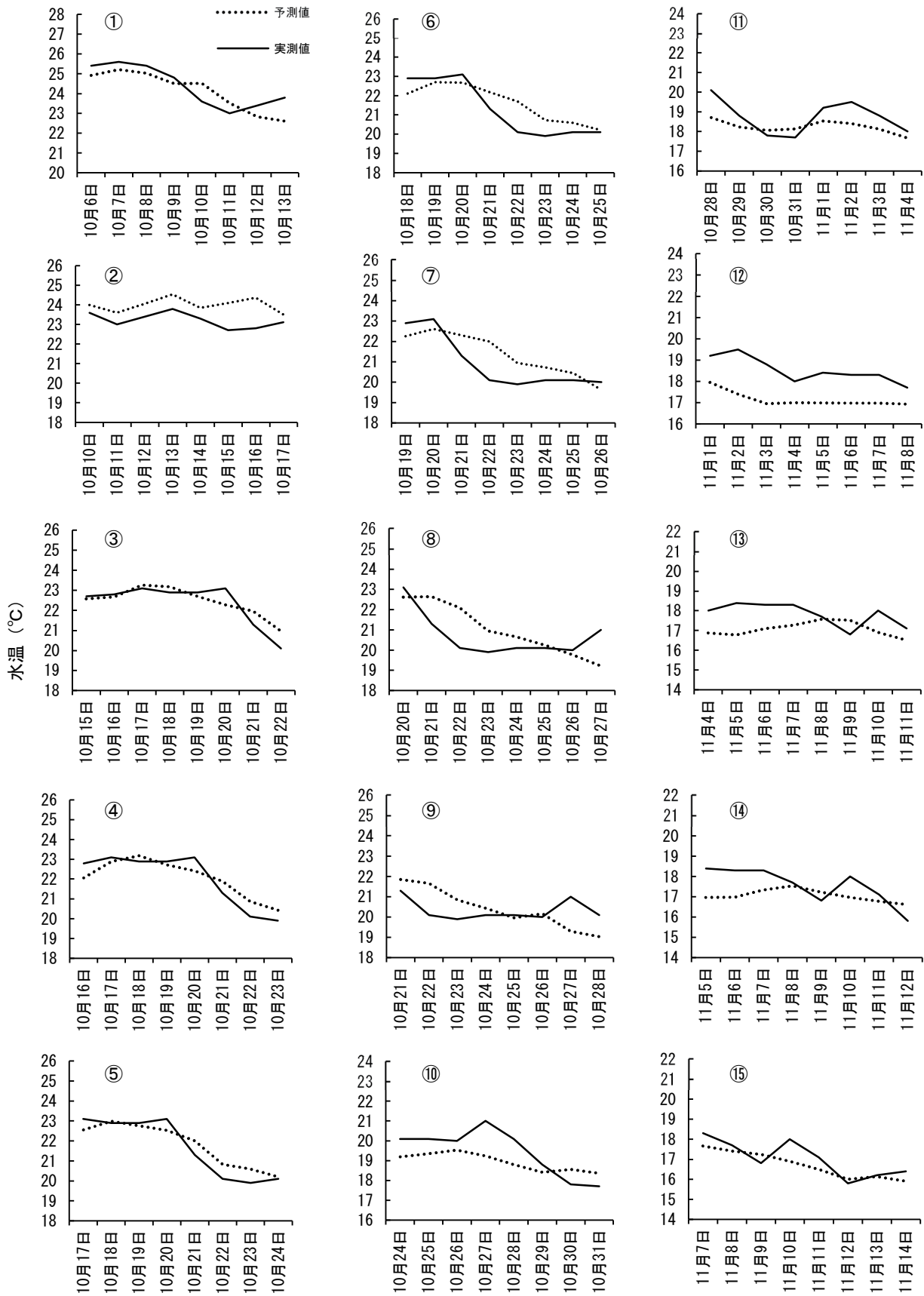


図 4d 丙漁場の水温の予測値と実測値

の精度で予測することができた。今後、より精度を向上させるため、引き続き学習データを蓄積していくとともに、水温及び気温以外の天候や潮汐といった環境要因についても、予測に利用可能か検証していく必要がある。

また、ノリ養殖業者が張り込み日の予測に利用する目的であることから、モデルの検討だけではなく、予測結果をノリ養殖業者が利用しやすい形で迅速に提供することが重要であると考えられる。本研究で得られた予測結果は、予備検討である旨を付したうえで、水産業普及指導員を介して速やかにノリ養殖業者に周知し、使用感についてフィードバックを受けた。その結果、水温予測が「役に立った」あるいは「まあまあ役に立った」と回答した漁業者は80%を超えたことから、本研究については一定の評価を受けていると考えられた（川村・竹内、未発表）。一方で、予測精度の向上に加えて予測期間の延長が求められており、ニーズに合わせたモデルの改良が必要である。

今回の報告においては、各漁場の実測水温と予測水温を示したが、実測水温と予測水温が大きく乖離した場合の要因を検討することは今後重要な課題になると考えられる。また、各漁場の漁場特性を明らかにして、水温の差異がどのような要因で生じるのか検討する必要もある。なお、本手法が今回調査していない漁場において適用可能かどうかは不明であるため、実装の前には入念な予備検討が必要である。

## 謝 辞

西三のり研究会の皆様には、貴重な水温データをご提供していただいた。また、本研究の一部は一般社団法人海苔増殖振興会の研究助成（海苔養殖の実践的研究）により実施された。ここに記して感謝の意を表する。

## 文 献

- 1) 島田裕至 (2014) 高温耐性. アマノリ養殖品種の特性, 独立行政法人水産総合研究センター西海区水産研究所, 51-56.
- 2) 愛知県水産試験場 (2004) ノリ養殖テキスト, pp80.
- 3) 気象庁 (2024) 気象変動監視レポート 2023, pp99.
- 4) ニノ方圭介・高須雄二・湯口真実・天野禎也 (2017) 海況自動観測ブイデータを利用した三河湾東部（渥美湾）における水温、塩分、溶存酸素の変動の解析. 愛知水試研報, 22, 22-28.
- 5) 川村耕平・日比野 学・山本有司 (2026) 愛知県のノリ養殖漁場 11ヶ所における生産性の経年変化. 愛知水試研報, 31, 46-67.
- 6) 総務省 (2019) 令和元年度版情報通信白書, pp420.
- 7) 大塚孝信・北澤裕司・伊藤孝行 (2018) 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. 59(2), 442-449.
- 8) Breiman L. (2001) Random Forest. Machine learning, 45, 5-32.
- 9) 環境省 (2013) 三河湾ヘルシープラン, pp40.

```

#0-7日後 (D0-D7) の水温予測ランダムフォレスト

#作業ディレクトリの指定
setwd("C:/Users/xxxx/Desktop/xxxx/xxxx")
getwd()

#ランダムフォレストパッケージのインストール ("randomForest")
install.packages("randomForest")

#ランダムフォレストライブラリのインストール ("randomForest")
library("randomForest")

#学習用データ (Data.csv) の読み込み
Table1<-read.csv("C:/Users/xxxx/Desktop/xxxx/xxxx/Data.csv")

#学習用データ列の確認
head(Table1)

#データフレームに用いる列の指定
ListD0<-c("WT0", "WTb1", "WTb2", "WTb3", "TH0", "TL0")
ListD1<-c("WT1", "WTb1", "WTb2", "WTb3", "TH0", "TH1", "TL0", "TL1")
ListD2<-c("WT2", "WTb1", "WTb2", "WTb3", "TH0", "TH1", "TH2", "TL0", "TL1", "TL2")
ListD3<-c("WT3", "WTb1", "WTb2", "WTb3", "TH0", "TH1", "TH2", "TH3", "TL0", "TL1", "TL2", "TL3")
ListD4<-c("WT4", "WTb1", "WTb2", "WTb3", "TH0", "TH1", "TH2", "TH3", "TH4", "TL0", "TL1", "TL2", "TL3", "TL4")
ListD5<-c("WT5", "WTb1", "WTb2", "WTb3", "TH0", "TH1", "TH2", "TH3", "TH4", "TH5", "TL0", "TL1", "TL2", "TL3", "TL4", "TL5")
ListD6<-c("WT6", "WTb1", "WTb2", "WTb3", "TH0", "TH1", "TH2", "TH3", "TH4", "TH5", "TH6", "TL0", "TL1", "TL2", "TL3", "TL4", "TL5", "TL6")
ListD7<-c("WT7", "WTb1", "WTb2", "WTb3", "TH0", "TH1", "TH2", "TH3", "TH4", "TH5", "TH6", "TH7", "TL0", "TL1", "TL2", "TL3", "TL4", "TL5", "TL6", "TL7")

#データフレームの作成
TableD0<-Table1[, ListD0]
TableD1<-Table1[, ListD1]
TableD2<-Table1[, ListD2]
TableD3<-Table1[, ListD3]
TableD4<-Table1[, ListD4]
TableD5<-Table1[, ListD5]
TableD6<-Table1[, ListD6]
TableD7<-Table1[, ListD7]

#データ列の確認
head(TableD0)
head(TableD1)
head(TableD2)
head(TableD3)
head(TableD4)
head(TableD5)
head(TableD6)
head(TableD7)

#乱数の設定
set.seed(1)

#ランダムフォレスト実行
modeD0<-randomForest(formula=WT0~WTb1+WTb2+WTb3+TH0+TL0, data=TableD0)
modeD1<-randomForest(formula=WT1~WTb1+WTb2+WTb3+TH0+TH1+TL0+TL1, data=TableD1)
modeD2<-randomForest(formula=WT2~WTb1+WTb2+WTb3+TH0+TH1+TH2+TL0+TL1+TL2, data=TableD2)
modeD3<-randomForest(formula=WT3~WTb1+WTb2+WTb3+TH0+TH1+TH2+TH3+TL0+TL1+TL2+TL3, data=TableD3)
modeD4<-randomForest(formula=WT4~WTb1+WTb2+WTb3+TH0+TH1+TH2+TH3+TH4+TL0+TL1+TL2+TL3+TL4, data=TableD4)
modeD5<-randomForest(formula=WT5~WTb1+WTb2+WTb3+TH0+TH1+TH2+TH3+TH4+TH5+TL0+TL1+TL2+TL3+TL4+TL5, data=TableD5)
modeD6<-randomForest(formula=WT6~WTb1+WTb2+WTb3+TH0+TH1+TH2+TH3+TH4+TH5+TH6+TL0+TL1+TL2+TL3+TL4+TL5+TL6, data=TableD6)
modeD7<-randomForest(formula=WT7~WTb1+WTb2+WTb3+TH0+TH1+TH2+TH3+TH4+TH5+TH6+TH7+TL0+TL1+TL2+TL3+TL4+TL5+TL6+TL7, data=TableD7)

#モデルの表示
modeD0
modeD1
modeD2
modeD3
modeD4
modeD5
modeD6
modeD7

#MSE (最小二乗誤差) の表示
plot(modeD0)
plot(modeD1)
plot(modeD2)
plot(modeD3)
plot(modeD4)
plot(modeD5)
plot(modeD6)
plot(modeD7)

#MSE (最小二乗誤差) が最小となるモデルの決定
which.min(modeD0$mse)
which.min(modeD1$mse)
which.min(modeD2$mse)
which.min(modeD3$mse)
which.min(modeD4$mse)
which.min(modeD5$mse)
which.min(modeD6$mse)
which.min(modeD7$mse)

#最適モデルの決定
sqrt(modeD0$mse[which.min(modeD0$mse)])
sqrt(modeD1$mse[which.min(modeD1$mse)])
sqrt(modeD2$mse[which.min(modeD2$mse)])
sqrt(modeD3$mse[which.min(modeD3$mse)])
sqrt(modeD4$mse[which.min(modeD4$mse)])
sqrt(modeD5$mse[which.min(modeD5$mse)])
sqrt(modeD6$mse[which.min(modeD6$mse)])
sqrt(modeD7$mse[which.min(modeD7$mse)])

#重要な説明変数の表示
varImpPlot(modeD0)
varImpPlot(modeD1)
varImpPlot(modeD2)
varImpPlot(modeD3)
varImpPlot(modeD4)
varImpPlot(modeD5)

```

```

varImpPlot(modeD6)
varImpPlot(modeD7)

#チューニング
modeD0_tuned <- tuneRF(x=TableD0[, -1], y=TableD0$WT0, ntreeTry=500, mtryStart=2, stepFactor=1.5, improve=0.01, trace=FALSE #don't show real-time progress)
modeD1_tuned <- tuneRF(x=TableD1[, -1], y=TableD1$WT1, ntreeTry=500, mtryStart=2, stepFactor=1.5, improve=0.01, trace=FALSE #don't show real-time progress)
modeD2_tuned <- tuneRF(x=TableD2[, -1], y=TableD2$WT2, ntreeTry=500, mtryStart=2, stepFactor=1.5, improve=0.01, trace=FALSE #don't show real-time progress)
modeD3_tuned <- tuneRF(x=TableD3[, -1], y=TableD3$WT3, ntreeTry=500, mtryStart=2, stepFactor=1.5, improve=0.01, trace=FALSE #don't show real-time progress)
modeD4_tuned <- tuneRF(x=TableD4[, -1], y=TableD4$WT4, ntreeTry=500, mtryStart=2, stepFactor=1.5, improve=0.01, trace=FALSE #don't show real-time progress)
modeD5_tuned <- tuneRF(x=TableD5[, -1], y=TableD5$WT5, ntreeTry=500, mtryStart=2, stepFactor=1.5, improve=0.01, trace=FALSE #don't show real-time progress)
modeD6_tuned <- tuneRF(x=TableD6[, -1], y=TableD6$WT6, ntreeTry=500, mtryStart=2, stepFactor=1.5, improve=0.01, trace=FALSE #don't show real-time progress)
modeD7_tuned <- tuneRF(x=TableD7[, -1], y=TableD7$WT7, ntreeTry=500, mtryStart=2, stepFactor=1.5, improve=0.01, trace=FALSE #don't show real-time progress)

#予測用データ (New.csv) の読み込み
#WTb1-3:1-3 日目の研究会測定水温
#TH0-7 : 0-7 日後までの日最高気温
#TL0-7:0-7 日後までの日最低気温
Table2<-read.csv("C:/Users/xxxx/Desktop/xxxx/xxxx/New.csv")
WTb1<-Table2$WTb1
WTb2<-Table2$WTb2
WTb3<-Table2$WTb3
TH0<-Table2$TH0
TH1<-Table2$TH1
TH2<-Table2$TH2
TH3<-Table2$TH3
TH4<-Table2$TH4
TH5<-Table2$TH5
TH6<-Table2$TH6
TH7<-Table2$TH7
TL0<-Table2$TL0
TL1<-Table2$TL1
TL2<-Table2$TL2
TL3<-Table2$TL3
TL4<-Table2$TL4
TL5<-Table2$TL5
TL6<-Table2$TL6
TL7<-Table2$TL7

#予測用データフレームの作成
new0<-data.frame(WTb1, WTb2, WTb3, TH0, TL0)
new1<-data.frame(WTb1, WTb2, WTb3, TH0, TH1, TL0, TL1)
new2<-data.frame(WTb1, WTb2, WTb3, TH0, TH1, TH2, TL0, TL1, TL2)
new3<-data.frame(WTb1, WTb2, WTb3, TH0, TH1, TH2, TH3, TL0, TL1, TL2, TL3)
new4<-data.frame(WTb1, WTb2, WTb3, TH0, TH1, TH2, TH3, TH4, TL0, TL1, TL2, TL3, TL4)
new5<-data.frame(WTb1, WTb2, WTb3, TH0, TH1, TH2, TH3, TH4, TH5, TL0, TL1, TL2, TL3, TL4, TL5)
new6<-data.frame(WTb1, WTb2, WTb3, TH0, TH1, TH2, TH3, TH4, TH5, TH6, TL0, TL1, TL2, TL3, TL4, TL5, TL6)
new7<-data.frame(WTb1, WTb2, WTb3, TH0, TH1, TH2, TH3, TH4, TH5, TH6, TH7, TL0, TL1, TL2, TL3, TL4, TL5, TL6, TL7)

#当日水温 (WT0) の予測
predict(modeD0, newdata=new0)
D0<-predict(modeD0, newdata=new0)

#1 日後水温 (WT1) の予測
predict(modeD1, newdata=new1)
D1<-predict(modeD1, newdata=new1)

#2 日後水温 (WT2) の予測
predict(modeD2, newdata=new2)
D2<-predict(modeD2, newdata=new2)

#3 日後水温 (WT3) の予測
predict(modeD3, newdata=new3)
D3<-predict(modeD3, newdata=new3)

#4 日後水温 (WT4) の予測
predict(modeD4, newdata=new4)
D4<-predict(modeD4, newdata=new4)

#5 日後水温 (WT5) の予測
predict(modeD5, newdata=new5)
D5<-predict(modeD5, newdata=new5)

#6 日後水温 (WT6) の予測
predict(modeD6, newdata=new6)
D6<-predict(modeD6, newdata=new6)

#7 日後水温 (WT7) の予測
predict(modeD7, newdata=new7)
D7<-predict(modeD7, newdata=new7)

#結果一覧
df<-c(D0, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7)
df

#結果 (Export.csv) の出力
write.csv(df, file="Export.csv", row.names=FALSE)

#完了

```

付図1 R (version4.4.2) におけるコード例