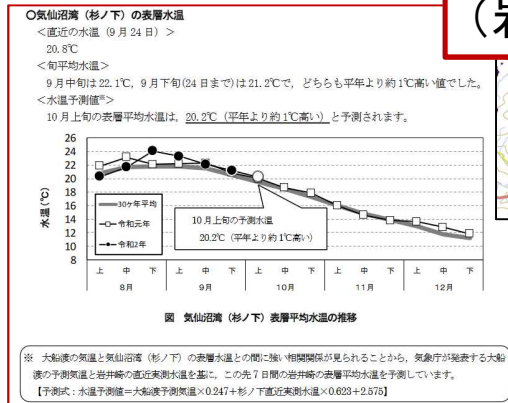


のり・ワカメ養殖における 気候・海洋情報の利活用について

仙台管区气象台 気象防災部
気候変動・海洋情報調整官
福島

気候・海洋情報の活用事例

気仙沼湾 (岩井崎)



宮城県ワカメ養殖通報HPより

◎ 湾内の全ての調査点で水溫が27℃以上で、昨年同期(9月11日)よりも2.7~3.1℃高くなっています。また、仙台管区気象台による水溫予測(桂島)では、今後5日間は26~27℃前後で推移する見込みですので(「4. 水溫参照」、今後の水溫の動向に注意してください)。



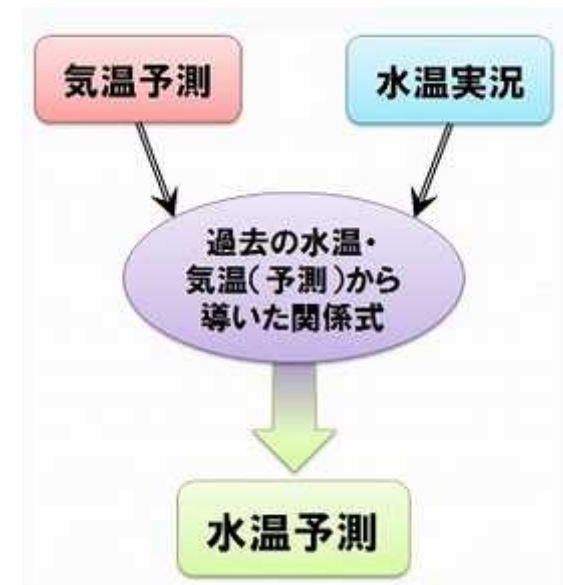
松島湾 (桂島)

宮城県のり養殖通報HPより

宮城県では、のり・ワカメの養殖に活用。養殖作業は適した水溫下で行う必要があるため、作業の準備や開始時期の目安に水溫予測を活用いただいている。

水温予測について

- ・水温の実況と気温予測を用いて、水温を予測する手法は、**宮城県水産技術総合センター及び同気仙沼水産試験場と仙台管区気象台**が共同で開発し(平成25年から連携開始)、宮城県のリ・ワカメの養殖通報に利用されている。
- ・湾内など海流の影響を受けにくい場所では、季節によって気温と海面付近の水温に明瞭な関連を見いだすことが可能
- ・そこで、過去に観測された水温と近隣の気温との間に関連があると確認できた場合には、気温の予測値を用いて海面付近の水温を予測することが可能
- ・予測に用いる関係式は、過去に観測された水温および気温(あるいは気温予測値)から導く。



「ワカメ養殖通報」について

ワカメ養殖通報（第3報）

令和4年10月14日



宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場

電話 0226(41)0652

宮城県気仙沼地方振興事務所水産漁港部

宮城県漁業協同組合関係支所

<協力機関>仙台管区气象台

- ・ 調査点における水温は、表層(0m)は17.5~19.9℃、水深10m層は19.2~19.7℃でした。
- ・ 栄養塩のうち三態窒素については11~205 $\mu\text{g/L}$ であり、ほぼ全ての調査点で20 $\mu\text{g/L}$ 以上でした。また、リン酸態リンについては2~34 $\mu\text{g/L}$ であり、ほぼ全ての調査点で3 $\mu\text{g/L}$ 以上でした。
- ・ 気仙沼湾(杉ノ下)の表層平均水温については、10月中旬(13日まで)は平年より0.9℃高くなっています。なお、10月下旬は平年並と予測されます。芽出し作業は直近の水温に注意して慎重に行いましょう。

<https://www.pref.miyagi.jp/site/yoshokutuho/wakame-tsuuhou.html>

「ワカメ養殖通報」について

○気仙沼湾（杉ノ下）の表層水温

<直近の水温（10月13日）>

18.7℃

<旬平均水温>

10月中旬(13日まで)は19.4℃で平年より0.9℃高い値でした。

<水温予測値>

今後の表層平均水温については、10月下旬は17.9℃（平年並）と予測されます。

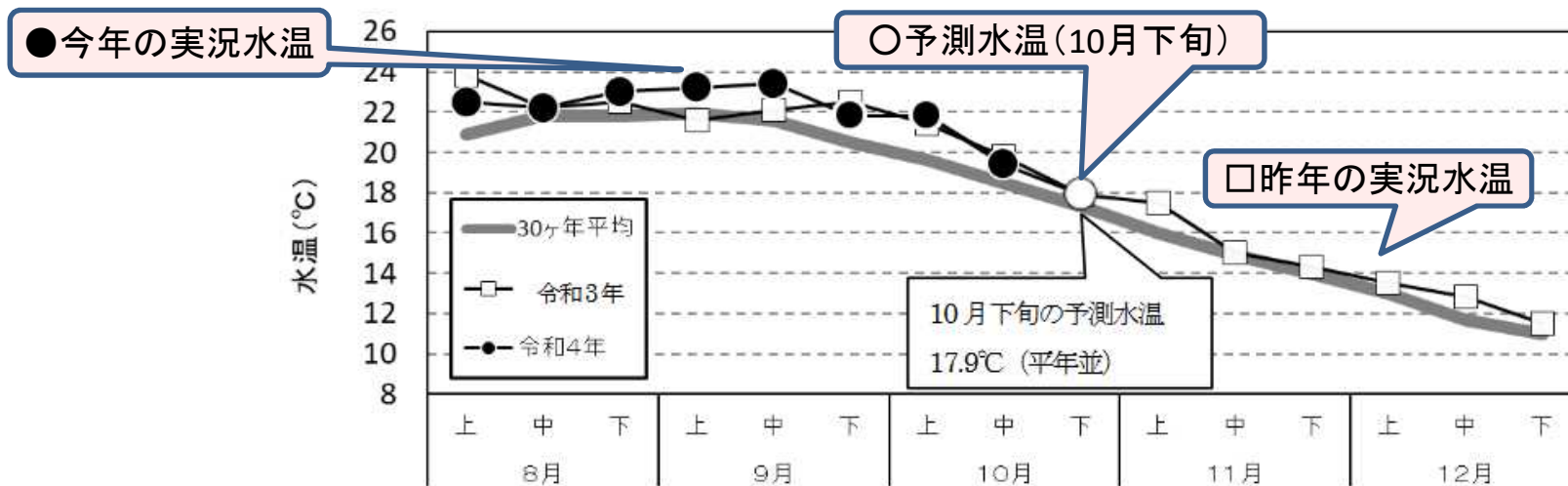


図 気仙沼湾（杉ノ下）表層平均水温の推移

※ 大船渡の気温と気仙沼湾（杉ノ下）の表層水温との間に強い相関関係が見られることから、気象庁が発表する大船渡の予測気温と岩井崎の直近実測水温を基に、8～12日先の岩井崎の水温予測値（5日間平均）を計算しています。

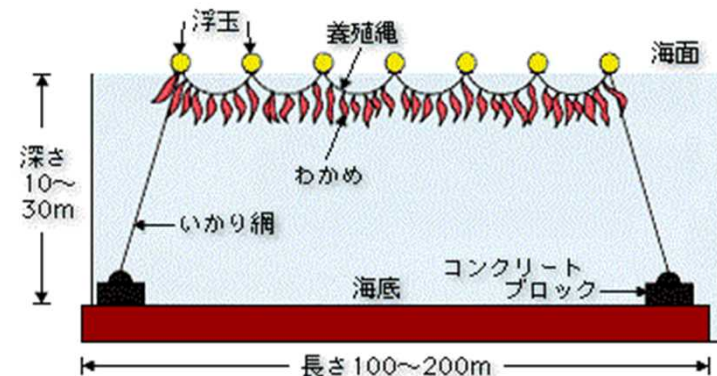
【予測式：水温予測値＝大船渡気温予測値×0.265＋杉ノ下の水温観測値×0.581＋3.109】

気仙沼湾水温予測のこれまでの経過

- 仙台管区気象台では、宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場との対話の中で、**ワカメ養殖漁業のために、水温予測のニーズ(9~12月頃)があることを把握。**
 - ワカメの配偶体は、**弱光下で水温23℃以上**の環境を保つと、雄雌に分かれず、**休眠状態**となる。
 - この性質を利用して、夏の間は、採苗器に入れたワカメの種を**水深の深いところに沈めて弱光下に置く**ことで、配偶体を増やす。
 - 秋に**水温20℃以下**になった頃に、採苗器を浅いところに引き上げ、芽胞体の発生を促進させる(**芽出**)。
- 9月頃に水温が安定して20℃以下になり、芽出作業の時期を早めに把握することが重要



9~12月における2週間先の沿岸水温を予想するニーズ



岩手県漁業協同組合連合会HPより

ワカメ養殖のための水温予測手法について

2週間気温予報の気温予測を用いた、2週間先の5日間平均水温予測式

- 予測式に利用しているデータ
 - 気温予測データ: 2週間気温予報の気温予測ガイダンスデータ(大船渡)を使用。
 - 水温観測データ: 岩井崎観測点(水温測定深1m、10時)の観測値(日毎)を使用。
- 2週間気温予報の最新データは毎日更新
- 予測期間は9～12月における2週間先(8～12日先)
- 予測値はワカメ養殖通報(気仙沼水産試験場発行)に掲載

→より最新の気温予測データを水温予測に利用できる

2週間気温予報を用いた水温予測式

- 平均気温予測値(2週間気温予報のハインドキャストデータ)と水温観測値を説明変数として(過去10年程度のデータを使用)重回帰分析を行い、8~12日先の水温予測式を作成
- 説明変数
 - 大船渡の平均気温予測値(8~12日先(5日間平均))
 - 岩井崎の水温観測値(前日~5日前(5日間平均):日データから算出)
- 目的変数
 - 岩井崎の水温観測値(8~12日先(5日間平均))

$$T_{sea_f} = aT_{sea} + bT_{air} + c$$

- T_{sea_f} : 8~12日先の5日間平均水温予測値 ← 目的の値
- T_{sea} : 前日までの5日間平均水温観測値
- T_{air} : 8~12日先の5日間平均気温予測値 } 観測や気象庁HPから入手可能な値
- a、b、c: 係数 ← あらかじめ計算が必要な値(マクロで求める値)、重回帰分析で求める。

2週間気温予報について

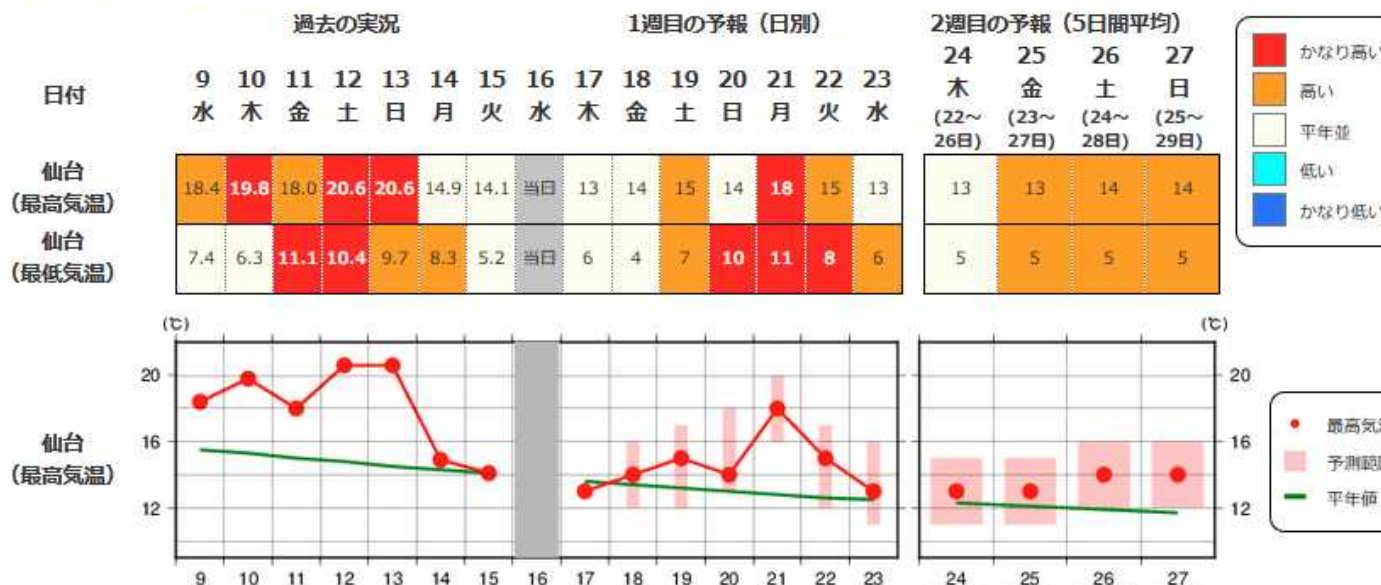
2週間気温予報

府県 宮城県 表示

2022年11月16日11時更新

仙台 | 白石 | 東北太平洋側

印刷



説明

- 最近1週間の実況と今後2週間先までの気温の推移を表示しています。
- 2週目の予報は中心の日に前後2日間を加えた5日間の平均（最高気温の5日間平均、最低気温の5日間平均、平均気温の5日間平均）です。平均期間を中心の日の下に表示しています。2週目のかなり高い（かなり低い）は、かなり高い（かなり低い）気温となる確率が30%以上のときに表示します。
- グラフに重ねたピンク色又は薄青は気温の予測範囲を表しており、実況の気温がその予測範囲に入る確率はおよそ80%です。
- 2週目の予報は毎日14時30分に発表します。その後ページの内容を更新するため、内容の確認は14時45分以降にお願いいたします。1週間先までの予報は随時更新しています。
- 最近1週間の実況の表の「////」は、欠測等の理由により値を表示しません。この場合は、グラフにも描画しません。

<https://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/twoweek/?fuk=34>

「のり養殖通報」について

令和4年9月21日調査・発行

のり養殖通報（第3報）

宮城県のにり養殖安定化対策本部

3. 注意事項

- ◎ 水温が23℃を上回る調査点が複数確認されました。また、仙台管区気象台による水温予測（桂島）では、今後5日間は23℃を下回る見込みですが（5. 水温参照）、地域によっては晴天により表面水温が上昇する可能性もありますので、今後の水温の動向に注意してください。

5. 水温

松島湾（桂島）の水温予測



桂島：宮城県水産技術総合センター 定地水温 水深：1.0m 時間：10:00

協力機関 仙台管区気象台

※ 水温の予測は気象庁提供資料を用いています。予測誤差は1℃程度と見込まれますが、それより大きくなる可能性もあります。誤差は日数が先になるほど大きくなります。

<https://www.pref.miyagi.jp/site/yoshokutuhoh/nori-eiyouden.html>

松島湾水温予測のこれまでの経過

- 仙台管区気象台では、宮城県水産技術総合センターとの対話の中で、**のり養殖漁業のために、水温予測のニーズ(9~12月頃)があることを把握。**
 - 発芽に適した水温の上限は23°C前後とされており、漁場の水温が安定して23°Cを下回ると、のり網の張り込みを行い、のりの芽を9月から10月にかけて育てる(育苗)。
 - 水温が10°C以下になると赤ぐされ病菌は不活発になる。
- のりの養殖では、水温が、9月頃に安定して**23°C以下**になる時期、11~12月頃に安定して**10°C以下**になる時期を把握できれば、水温変化によるのりの被害を軽減できるとされ、作業が計画的に進められ生産量の向上が期待できる。

内湾で水温変化が比較的大きい松島湾において、安定して23°C以下になる時期を見極めるためには、**日単位の水温予測が重要で、1週間程度先までの日別沿岸水温を±1°Cの誤差の範囲内で予想するニーズ**があることが意見交換の中で分かった。

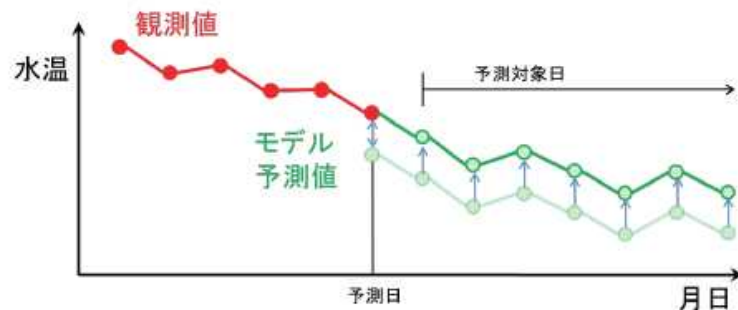
のり養殖のための水温予測手法について

週間スケール水温予測の「のり養殖通報」では、**週間予報**を用いた水温予測と**MOVE-JPN**(※)補正值を利用している

週間の気温予報を用いた水温予測式

$$T(n) = a(n)T_0 + \sum_{i=1}^n b_i(n)X(i) + c(n)$$

MOVE-JPN予測水温に実況観測の補正を加えた値



MOVE水温予測の補正值イメージ
(測候時報 第85 巻 2018 東北地方の養殖漁業のための
沿岸水温予測方法の紹介より)

平均

水温予測値(°C)

※ MOVE-JPNとは、気象庁の日本沿岸海況監視予測システムの一部(後スライドで説明)

- ・週間気温予報の最新データは毎日更新
- ・予測期間は9～12月における1週間先(1～7日先)
- ・予測値はのり養殖通報(宮城県水産技術総合センター発行)に掲載

週間気温予報を用いた水温予測式

- 平均気温観測値と水温観測値を説明変数として(過去10年程度のデータを使用)重回帰分析を行い、**1~7日先の水温予測式を作成**
- 説明変数
 - 仙台の平均気温予測値(1~7日先(日毎))→日々の最高・最低気温予測値の平均を利用
 - 桂島の水溫観測値(当日)(水温測定深1m、10時)
- 目的変数
 - 桂島の水溫観測値(1~7日先(日毎))

$$T_{(n)} = a(n)T_0 + \sum_{i=1}^n b_i(n)X(i) + c(n)$$

$T_{(n)}$:n日後の水溫予測値 ← 目的の値
 T_0 :最新水溫(予想日の水溫)
 $X(i)$:i日先の平均気温予測値 } 観測や気象庁HPから入手可能な値
($a(n)$, $b_i(n)$):係数 $c(n)$:定数)
← あらかじめ計算が必要な値(マクロで求める値)、重回帰分析で求める。

週間予報について

宮城県の天気予報（7日先まで）									
2022年11月16日11時 仙台管区气象台 発表									
日付	今日 16日(水)	明日 17日(木)	明後日 18日(金)	19日(土)	20日(日)	21日(月)	22日(火)	23日(水)	
東部	晴 	曇時々晴 	晴後曇 	晴時々曇 	曇 	曇一時雨 	晴時々曇 	曇時々晴 	
降水確率(%)	-/-/0/0	10/10/10/10	30	20	40	50	20	20	
信頼度	-	-	-	A	C	C	A	A	
仙台 気温 (°C)	最高	15	13	14 (12~16)	15 (12~17)	14 (13~18)	18 (16~20)	15 (12~17)	13 (11~16)
	最低	-	6	4 (2~7)	7 (6~9)	10 (7~11)	11 (8~12)	8 (6~10)	6 (4~8)
日付	今日 16日(水)	明日 17日(木)	明後日 18日(金)	19日(土)	20日(日)	21日(月)	22日(火)	23日(水)	
西部	晴後曇 	曇 	晴後曇 	晴時々曇 	曇 	曇一時雨 	曇時々晴 	曇時々晴 	
降水確率(%)	-/-/10/10	30/20/10/10	30	20	40	50	30	30	
信頼度	-	-	-	A	C	C	B	B	
白石 気温 (°C)	最高	15	13	14 (12~16)	16 (13~17)	14 (13~18)	17 (15~20)	14 (11~18)	13 (10~16)
	最低	-	4	1 (-1~4)	5 (4~7)	6 (3~9)	8 (5~10)	5 (3~8)	4 (2~7)
向こう一週間（明日から7日先まで）の平年値									
				降水量の7日間合計	最低気温	最高気温			
仙台				平年並 2 - 9mm	4.6℃	13.0℃			
白石				平年並 3 - 10mm	2.6℃	12.9℃			

https://www.jma.go.jp/bosai/forecast/#area_type=offices&area_code=040000

日本沿岸海況監視予測システムの特徴

- **高い空間分解能** (日本近海で水平解像度**2km**)

- 前線波動に伴う暖水波及を表現可能
- 沿岸域の詳細な地形を表現

- **沿岸域に適したモデリング**

- 潮汐過程を陽に計算。潮汐混合による水温塩分変動を適切に表現
- 新しい鉛直座標系 (Z*座標) の導入により浅海域を適切に表現
- 海面気圧による吸い上げ・押し下げ効果を導入
⇒ 気象要因の潮位変動を適切に表現
- 河川流入水の導入

- **より高度なデータ同化手法を採用**

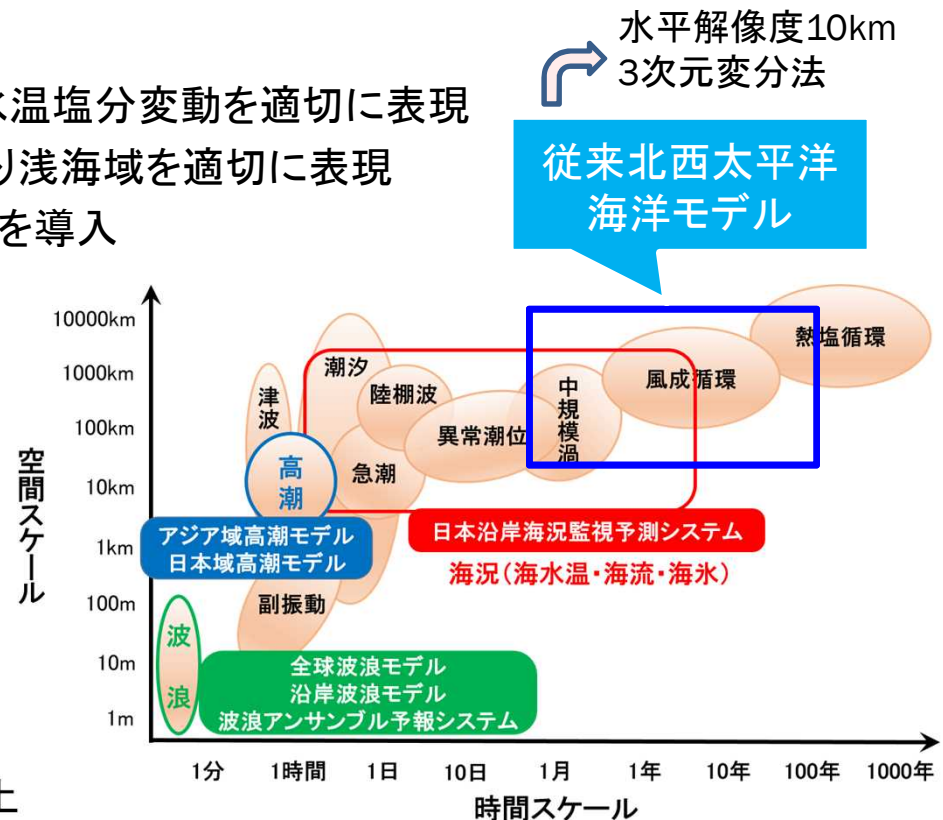
- 現行の3次元変分法から4次元変分法へ
- 数日スケール変動の再現性向上

- **高解像度の大気外力**

- 気象予測で用いる全球大気モデルGSM (水平分解能約20km)を利用
- 気象擾乱に伴う陸棚波などの再現性向上

JPNシステム導入の背景 (2020年10月～)

- 沿岸域の監視・予測への社会的ニーズが高まる
- 気象庁のスーパーコンピュータシステムの更新に伴う計算機資源増



日本沿岸海況監視予測システム(予報)

モデル	GLB	NP	JPN
水平解像度	①と同じ	1/11 × 1/10度	1/33 × 1/50度(約2 km)
対象海域	全球	北太平洋	日本近海
外力	GSM		
初期値(参照)	GLB-3DVAR	NPR-4DVAR	
IAU期間	3日間		
予報期間	11日間		
延長予報	1か月(GEPS)		なし
潮汐過程	あり		
河川水	JRA55気候値		
対象とする現象		黒潮、親潮、中規模渦	小規模渦、ストリーマ、沿岸波、沿岸湧昇 (詳細な海岸・海底地形)

まとめ

- ワカメ養殖のための水温予測は、**2週間気温予報の気温予測**を利用しており、宮城県水産技術総合センター気仙沼水産試験場発行の「ワカメ養殖通報」に活用されている。
- のり養殖のための水温予測は、**週間天気予報の気温予測とJPNの水温**を利用しており、宮城県水産技術総合センター発行の「のり養殖通報」に活用されている。

※昨年度は、予測式の係数を自動で行うツールを開発し、水産現場で係数が作成できるように改善を行っている。
今後も水温予測について、関係機関と連携していく予定。

ご清聴ありがとうございました。

參考資料

水温予測の概要

- 週間の気温予報による水温予測式

特徴: 週間の日別平均水温を予測できる (Perfect Prognosis Method方式)

$$T(n) = a(n)T_0 + \sum_{i=1}^n b_i(n)X(i) + c(n)$$

係数

$$a(n), b_i(n), c(n)$$

変数

$T(n)$: n 日先の水温予測値

T_0 : 予測日当日の水温観測値

$X(i)$: i 日先の日平均気温予測値

部外から気象庁HPで入手可能な週間気温予報データは最高気温と最低気温のため、この時の平均気温は便宜上(日最高気温+日最低気温)/2としている

- 2週間気温予報による水温予測式 (Model Output Statistics方式)

特徴: 2週目の5日間平均水温(最長で13~17日の5日間平均水温まで)を予測できる

$$T_{sea_f} = aT_{sea} + bT_{air} + c$$

係数

$$a, b, c$$

変数

T_{sea_f} : n 日先の5日間平均水温予測値

T_{sea} : 前日までの5日間平均水温観測値

T_{air} : n 日先の5日間平均気温予測値

予測精度として誤差は期間ほとんどで、 1°C 以内に収まるのが望ましい。

PPM方式、MOS方式

	PPM方式	MOS方式
気温予測誤差の考慮	×	○
気温予測モデルへの依存性	依存しない	依存する
気温データの入手のしやすさ	○(観測データ)	△ (予測データ、入手できるデータに限られる)
利用している予測	週間水温予測	2週間水温予測

PPM方式、MOS方式の特徴について

PPM方式について

- 概要

PPM方式、MOS方式は統計的な関係式を求める際の手法です。本水温予測式においては、「観測された水温・予測気温」と「将来の水温」の間の統計的な関係式を求めています。

- PPM方式

過去のデータから重回帰分析により、

「観測された水温」「予測対象日に観測された気温」「予測対象日に観測された水温」の間の関係式(係数や定数)を導きます。

予測する際は過去データから求めた上記関係式を使って

「予測日当日に観測された水温」「予測される気温」から「予測される水温」を求めます。

重回帰分析の際と予測する際で用いる気温の値が“観測値”“予測値”と異なるため、予測誤差は考慮されません。一方で過去の観測値のデータは入手しやすく関係式作成のためのデータを揃えることが容易です。また、関係式の構築に予測値を使わないため、気象庁の予報モデルが更新され予測誤差の傾向が変化しても、更新は不要です。

(PPM方式は「予測が誤差なく完璧に的中する」と仮定した場合の予測とも言えます(今回の場合は「気温の予測値が完璧に的中する」と仮定した場合の将来水温の予測となります))

MOS方式について

- 概要

PPM方式、MOS方式は統計的な関係式を求める際の手法です。本水温予測式においては、「観測された水温・予測気温」と「将来の水温」の間の統計的な関係式を求めています。

- MOS方式

過去のデータから重回帰分析により、

「観測された水温（5日間平均水温）」「予測された気温」「予測対象日の実際の水温」の関係式（係数や定数）を求めます。

予測する際は過去データから求めた上記関係式を使って

「観測された前日までの5日間平均水温」「予測される気温」から「予測される水温」を求めます。

関係式を求める際と予測する際に用いる気温の値が“予測値”で統一されているため、予測誤差は考慮されたものとなります。ただし、過去の予測値を入手することは難しく、また、関係式の構築に予測値を利用するため、気象庁のモデルが更新された際は、予測される気温の誤差の傾向が変化する可能性があるため、更新後の再予報データ（過去の予測について新モデルを使って計算しなおしたデータ）で改めて関係式を作成することが望ましくなります。

注: 本水温予測式では気温の再予報データを気象庁HP*から入手していますが、入手できる予報の初期日はひと月に15日、月末と限られています（2021年8月時点）。理想的には関係式の構築には各予報の初期日に対する〇日後からの5日間平均気温予測値で統計式を計算することが望ましいですが、データ数が限られるため、「何日先の気温予測でも気温予測誤差（傾向）は一定」と仮定の上、15日と月末の初期日を各日予報日の予測として計算しております。このため「予想先の日付が遠くなることによる気温予報誤差（傾向）の変化」は本予測式では考慮されませんのでご注意ください。

（例：20日の初期日によるx日（〇日後）の気温予測も、15日の初期日によるx日（5+〇日後）の気温予測も気温の予測誤差（傾向）は一定のもののみならず関係式を構築しています。）

*http://www.data.jma.go.jp/risk/probability/guidance/csv_k2w.php