

気候変動がワカメ養殖場の栄養塩濃度に及ぼす影響の将来予測

○ 笥 茂穂¹, 佐々木 実紀², 西川史朗³, 若松 剛⁴, 石川 洋一³, 内記 公明⁵, 瀬川 叡⁶

(¹水産機構・資源研, ²日本エヌ・ユー・エス(株), ³JAMSTEC, ⁴ナンセン環境リモートセンシングセンター, ⁵岩手県内水面水産技術センター, ⁶岩手県水産技術センター)

キーワード: 栄養塩・気候予測モデル・鉛直次元モデル・ワカメ養殖場

環境省「地域適応コンソーシアム北海道・東北地域事業委託業務」の一環として実施しました。

背景

ワカメ養殖において、保苗・本養成期(秋季:9月~11月)や収穫期(春季:1月~4月)に水温、栄養塩が大きく変動すると、芽落ちや品質低下等の影響が生じる。

ワカメ養殖場への栄養塩は、無光層における分解で生じた栄養塩が混合層の形成に伴い表層にポンプアップされることによって供給されている。

また春には、成層がセットアップされ、上層での栄養塩消費(主に珪藻)により、栄養塩が枯渇してゆく。

今後、気候変動により表層の海水温が上昇すると、秋季の混合層深度の発達が遅れ、春季の成層の形成が早期化し、表層付近の栄養塩濃度がワカメ養殖に適した期間が短くなる可能性がある。

目的

現在・将来の海面総熱フラックスを用いて、栄養塩供給・枯渇次元モデル(Kakehi et al., 2018)で栄養塩が供給される期間を現在と将来で比較し、気候変動がワカメ養殖に及ぼす影響を評価する。

方法 将来予測モデルについて

- ・MRI-RCP8.5を使用

- ・出力結果

1996/1/1～2100/12/31(2005/12/31までが現在, これ以降が将来予測)
の海面におけるdailyの下向き短波長放射, 長波長放射, 潜熱, 顕熱, 降水

- ・海面総熱フラックス(Net Heat Flux: NHF) = 短波+長波+潜熱+顕熱, 降水

- ・鉛直一次元栄養塩供給・枯渇予測モデル(Kakehi et al., 2018)で使用している
NCEP/DOEでは142.5E, 39.05Nの格子のデータを使っているため, MRIについてもこ
こに最も近い, 142.5E 39.06Nの値を抽出して比較.

1996～2005年を現在

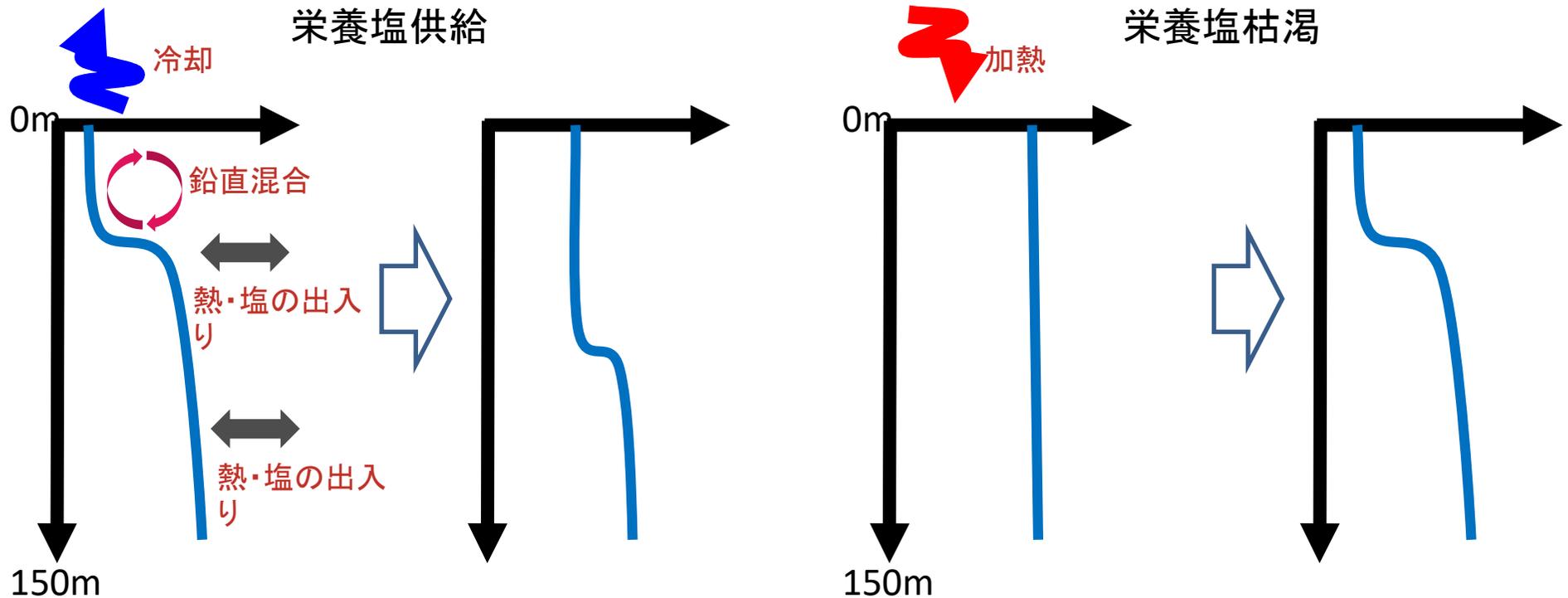
2031～2050年を21世紀中頃

2086～2100年を21世紀末

として気候値を作成.

方法

鉛直一次元栄養塩供給・枯渇予測モデルについて



海面冷却による混合層深度の発達により、混合層内の栄養塩濃度が上昇するのを予測

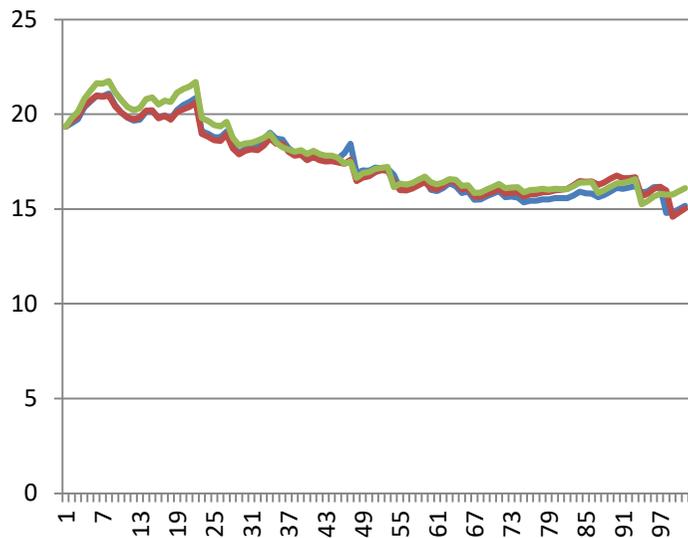
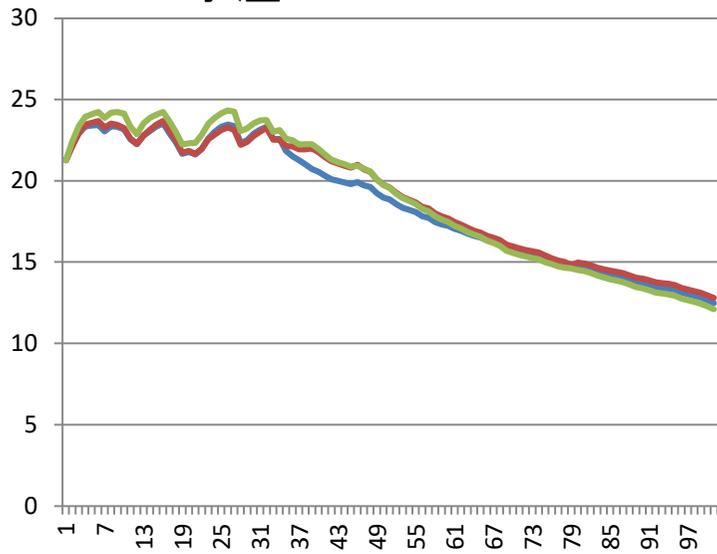
海面加熱による成層の発達により、混合層内の栄養塩濃度が下降するのを予測。

現地観測による成層化した上層での栄養塩消費速度を使用

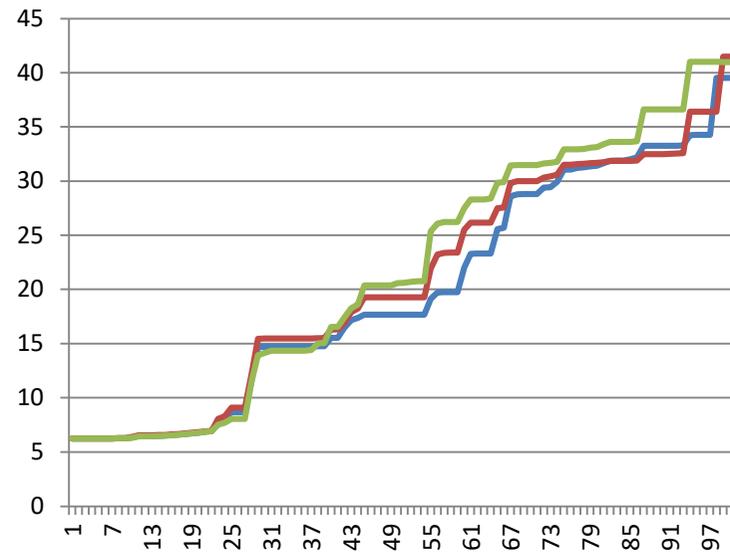
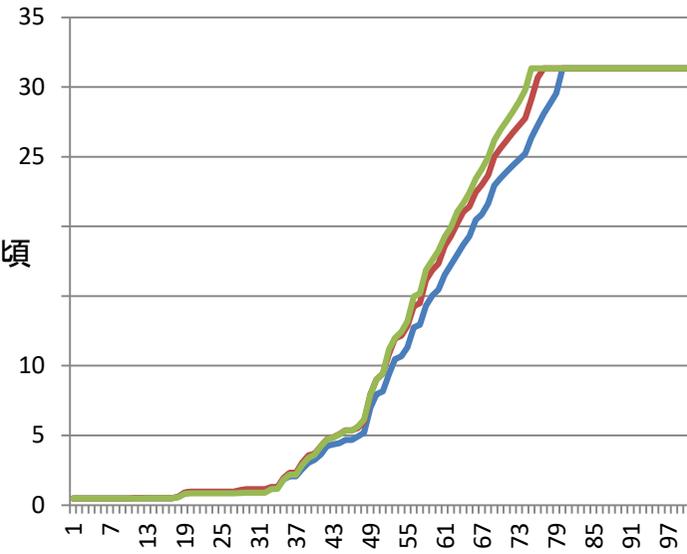
供給、枯渇のどちらも、観測(現在)に基づく水温、塩分、栄養塩濃度の初期値を使用

モデルの結果 秋

水温



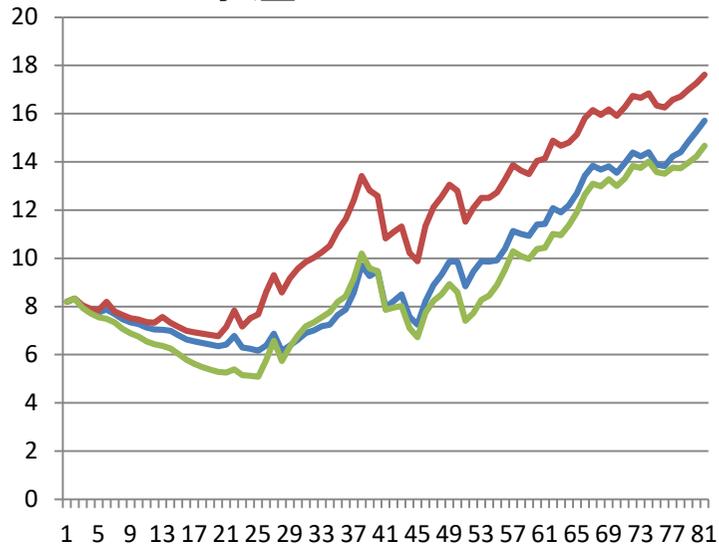
NOx



水温の違いはほぼ無し。20 μ g/Lを越える日は2016年で3, 3日, 2017年で5, 15日早い。

モデルの結果 春

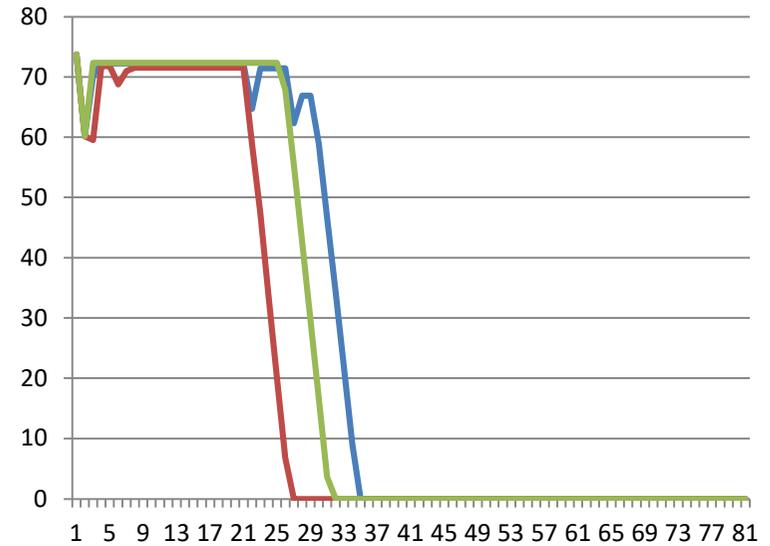
水温



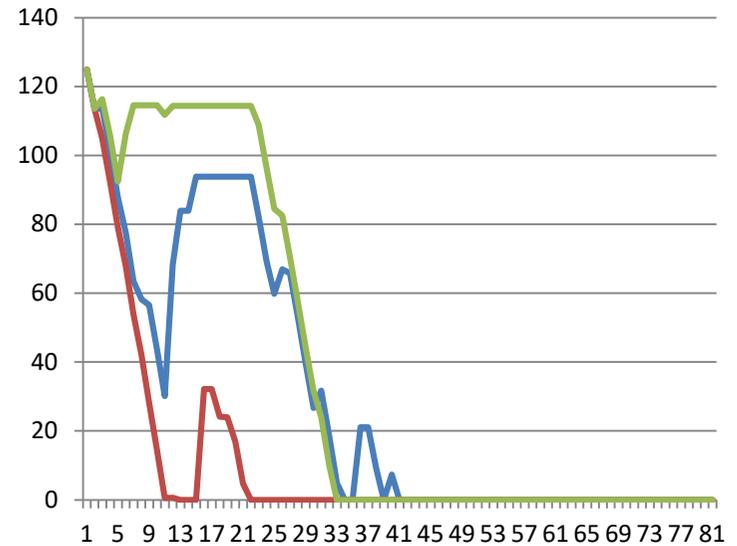
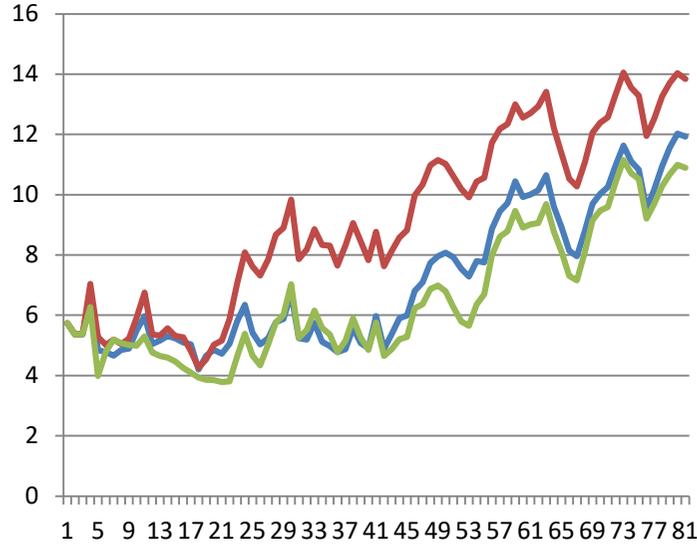
2017年

— 現在
— 21世紀中頃
— 21世紀末

NOx



2018年



21世紀中期は水温上昇が著しい。21世紀末の水温は現在よりも低い。栄養塩が枯渇する日は2017年で8, 3日, 2018年で12, 1日早い。

気候値フラックスを与えた計算のまとめ

- ・21世紀中期の春には、現在よりも早期に高水温、貧栄養となるため、色落ち、生物付着による品質低下が発生することが懸念される。
- ・秋には将来と現在で差はあまりなかった。

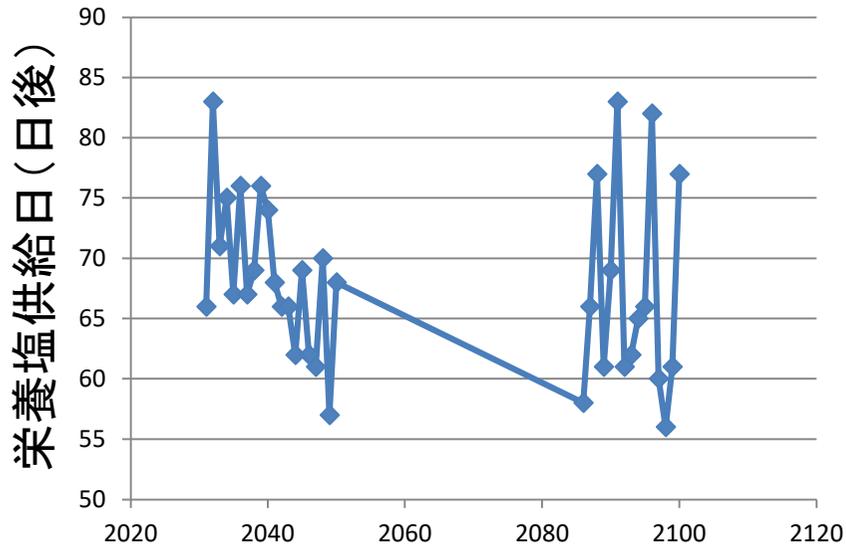
この結果では21世紀中期と21世紀末で差は小さかったが、21世紀末はデータのばらつきが大きくなる、つまり極端現象が起きやすくなると言われている。これにより、養殖管理が難しくなるという可能性があるのではありませんか？

年ごとのデータで計算してみる。

①MRI-RCP8.5シナリオの年ごとの計算

秋の栄養塩供給日の比較

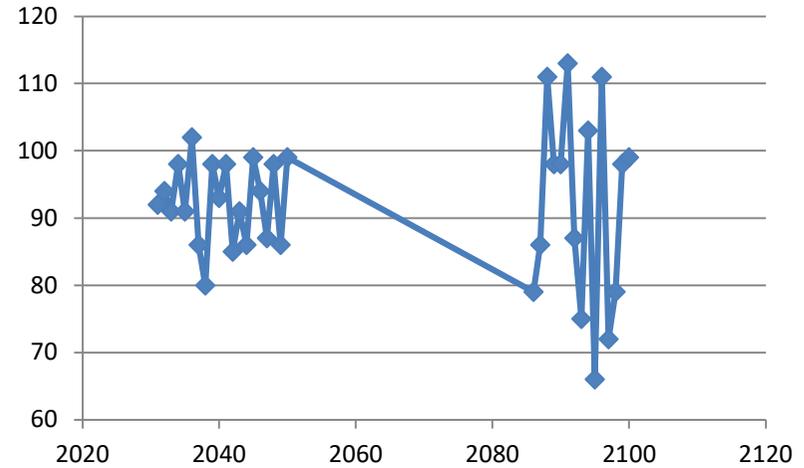
初期値2016年9月



	21世紀末	21世紀中期
平均	66.93333	68.65
分散	76.78095	36.87105
観測数	15	20
自由度	14	19
観測された分散比	2.082418	
P(F<=f) 片側	0.06857	
F境界値 片側	2.255614	

21世紀末の方が分散は大きいですが、
有意な差ではない
($p > 0.05$, F境界値 $>$ 分散比)

初期値2017年9月

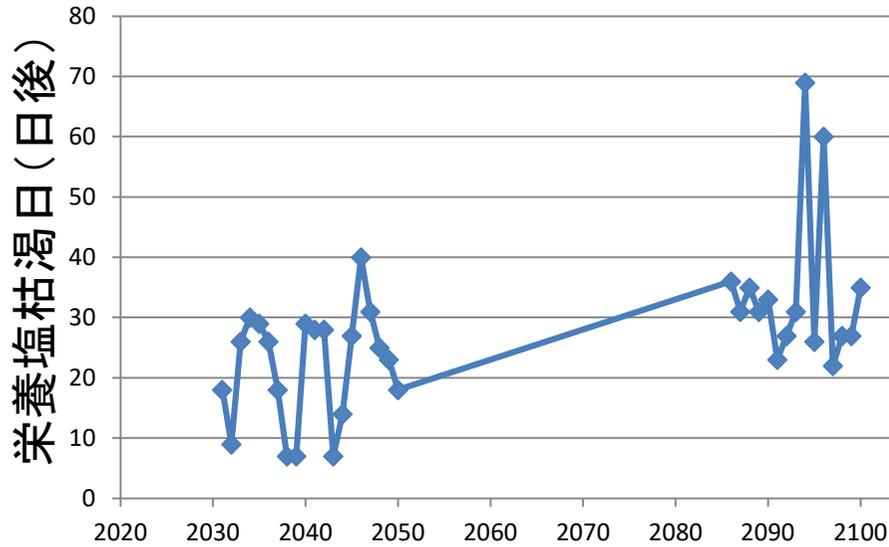


	21世紀末	21世紀中期
平均	91.66667	92.4
分散	228.8095	35.62105
観測数	15	20
自由度	14	19
観測された分散比	6.423435	
P(F<=f) 片側	0.000142	
F境界値 片側	2.255614	

$p < 0.001$ かつF境界値 $<$ 分散比なので
21世紀末の分散は21世紀中期よりも有意に大きい。

春の栄養塩枯渇日の比較(最初の枯渇日)

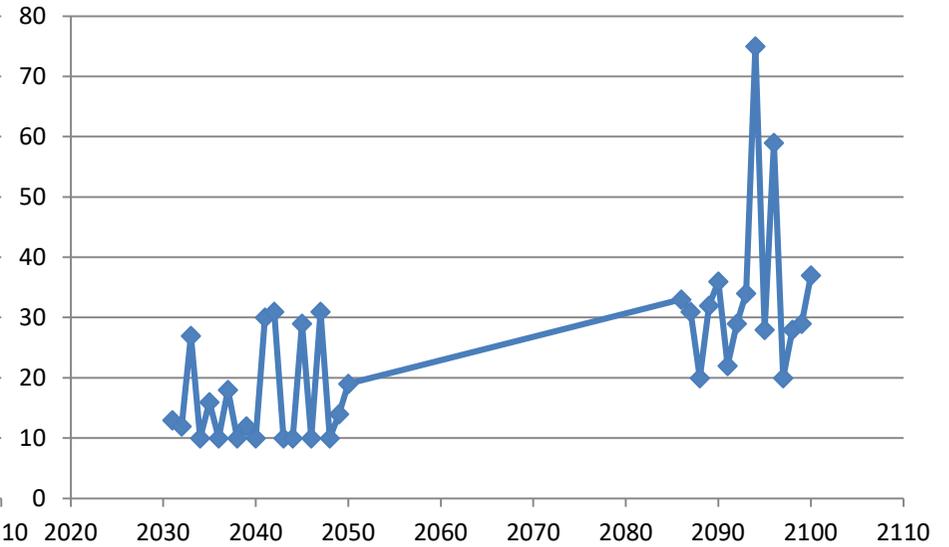
初期値2017年3月



	21世紀末	21世紀中期
平均	34.2	22
分散	172.1714	87.47368
観測数	15	20
自由度	14	19
観測された分散比	1.968265	
P(F<=f) 片側	0.084643	
F 境界値 片側	2.255614	

21世紀末の分散は21世紀中期に比べ有意ではないものの大きい。

初期値2018年3月



	21世紀末	21世紀中期
平均	34.2	16.6
分散	213.6	67.09474
観測数	15	20
自由度	14	19
観測された分散比	3.183558	
P(F<=f) 片側	0.010185	
F 境界値 片側	2.255614	

21世紀末の分散は21世紀中期に比べ有意に大きい。

年ごとの海面フラックスを与えたケースのまとめ

MRI-RCP8.5 年ごとの計算

・秋の栄養塩供給日, 春の栄養塩枯渇日ともに21世紀末の方が21世紀中期よりも分散が大きかった. 半数は有意な差が見られた.

21世紀末では21世紀中期に比べ, 極端現象が起きやすくなり, 養殖管理が難しくなる可能性を示す

年々変動が大きくなることに対する対策

① 予測情報の発信

Takehi et al. (2018)による栄養塩供給予測(50日先まで).

現場観測による水温, 塩分, 栄養塩分布から混合層深度の発達(秋), 成層の形成(春)を予測する

平成29年度ワカメ養殖情報第1号(平成29年9月27日)

- 9月26日の定地水温は、野田湾で19.6℃(過去平均差-0.2℃)、船越湾で19.2℃(過去平均差-0.5℃)、広田湾で18.9℃(過去平均差-1.5℃)となっています。
- 20℃以下の水温帯は、黒崎以北に広く分布しているほか、本県沿岸10海里(19km)以内に分布しています(図1)。
- 本県沖合における栄養塩の表面分布は前年同時期並みの値であり(図2)、県南部湾内定地の栄養塩も例年並みの値となっています(9/5)。
- 岩手丸の9月沖合観測結果から、10マイル定点において栄養塩が20μg/L以上となる確率は、黒崎が10月19日以降、トドヶ崎が10月24日以降、尾崎が10月16日以降に80%を超えて高い見込みです(図3)。
- 栄養塩や水温の動きに注意し、巻き込み作業の準備を進めて下さい。

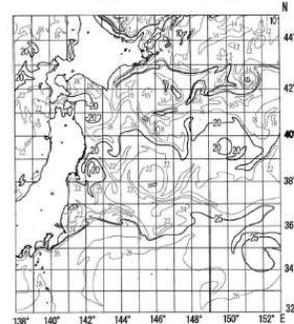


図1 本県沖合における表面水温分布(9/24~25)



図2 本県沖合における栄養塩の表面分布

(1)黒崎 2017年10月							(2)トドヶ崎 2017年10月						
日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
10%	10%	10%	10%	15%	15%	20%	0%	0%	0%	0%	5%	10%	10%
8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14
25%	30%	40%	45%	50%	55%	65%	10%	10%	15%	25%	25%	30%	35%
15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21
75%	75%	75%	80%	85%	90%	95%	40%	43%	60%	63%	70%	73%	80%
22	23	24	25	26			22	23	24	25	26	27	
95%	95%	95%	95%	95%			80%	80%	95%	95%	100%	100%	

(3)尾崎 2017年10月							(4)樺島 2017年10月						
日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
40%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
8	9	10	11	12	13	14	8	9	10	11	12	13	14
45%	50%	60%	65%	75%	80%	80%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
15	16	17	18	19	20	21	15	16	17	18	19	20	21
80%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
22	23	24	25	26	27		22	23	24	25			
90%	90%	95%	95%	95%	95%		0%	0%	0%	0%			

図3 10マイル定点の栄養塩が20μg/L以上となる確率(予測結果)

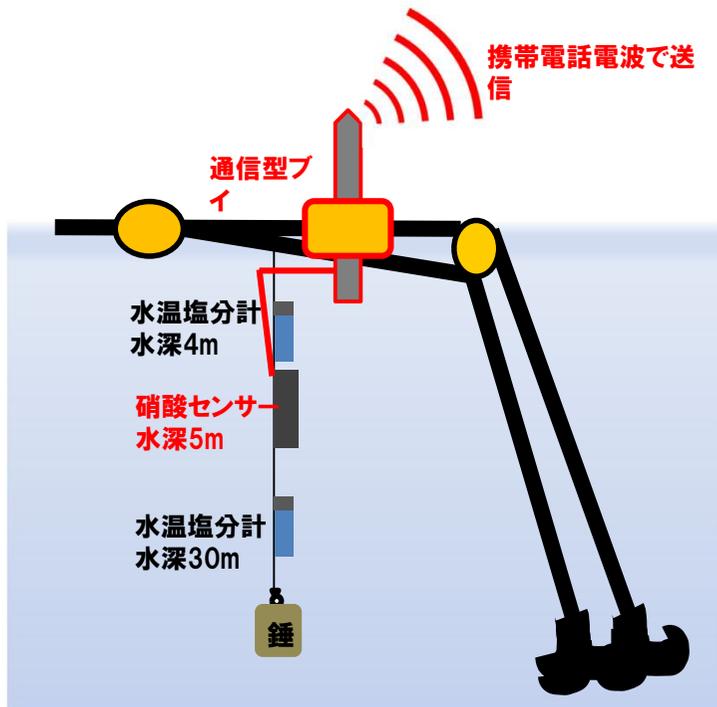
※湾内自動水温観測装置(定地水温観測システム)の設置、水温及び栄養塩供給予測のためのソフトウェア開発、沖合栄養塩の分析は、農林水産省 農林水産技術会議による「食料生産地域再生のための先端技術展開事業」による成果です。なお、定地水温の値は、午前10時の水温を採用しています。
 ※当情報は水産技術センターホームページでもご覧いただけます。 URL: <http://www2.suigi.pref.iwate.jp/>

短期的な予測で、今年の作業スケジュールを調整

年々変動が大きくなることに対する対策

②リアルタイム栄養塩データの発信

栄養塩センサーをワカメ養殖場に設置し、測定値をスマホで閲覧するシステム



計測地点：船越湾

年月日	硝酸塩 [$\mu\text{g/L}$]
2017年10月01日	4.8
2017年09月30日	4.7
2017年09月29日	4.5
2017年09月28日	3.5
2017年09月27日	2.7
2017年09月26日	2.7

※現場データとの比較に伴い、値が更新され、前日までの値と異なる可能性があります。表示されている値がより正しい値です。

このデータの提供は農林水産省農林水産技術会議による「食料生産地域再生のための先端技術展開事業」のもと実施しています。

関係機関：
東北区水産研究所
株式会社NITドコモ
岩手県水産技術センター
セナーアンドハース株式会社
アンデックス株式会社

最終的な作業開始の判断に使用する

まとめ

・気候値フラックスを与えた計算では
21世紀中期の春には、現在よりも早期に高水温、貧栄養となるため、色落ち、生物付着による品質低下が発生することが懸念される

・年ごとのフラックスを与えた計算では
21世紀末では21世紀中期に比べ、極端現象が起きやすくなり、養殖管理が難しくなる可能性がある

・対策

①その年の芽付け時期および刈り取り時期に栄養塩の供給、枯渇を50日先まで予測し、発信している。

→短期的な予測で、作業スケジュールの調整

②栄養塩リアルタイムバイを設置し、日々の値を閲覧できるようにした

→最終的な作業実施の判断に使用。

今後の課題

①は県の事業として実施しているが、②についてはS-18の研究予算の枠組みで実施。将来にわたってバイの維持は困難。県、漁協、国研等による持続可能な運用システムの構築が不可欠。



鉛直一次元栄養塩供給・枯渇モデルへの適用

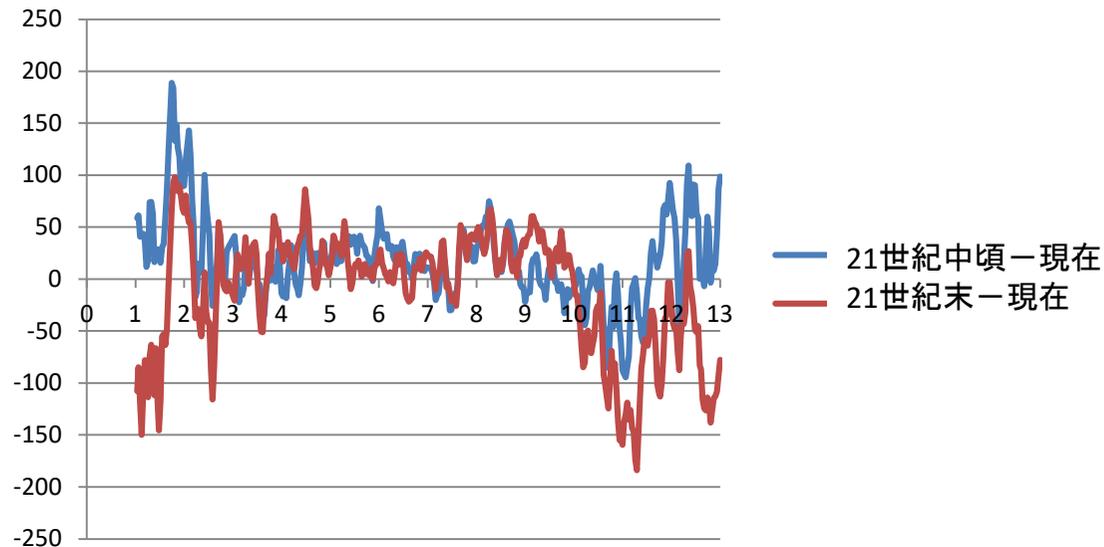
観測データ初期値

2016年9月OZ10, 2017年3月船越湾AAQ, 2017年9月OZ10, 2018年3月船越湾AAQ

海面熱フラックス, 降水として(気候値で計算)

- ①NCEP/DOEのみ
- ②NCEP/DOE+(MRI21世紀中頃-MRI現在)
- ③NCEP/DOE+(MRI21世紀末-MRI現在)

を与えて計算.



現在との差

春は正, 秋は負
= 将来, 春は加熱が強く,
秋は冷却が強まる
と考えられる
特に, 21世紀中期の春,
21世紀末の秋が顕著

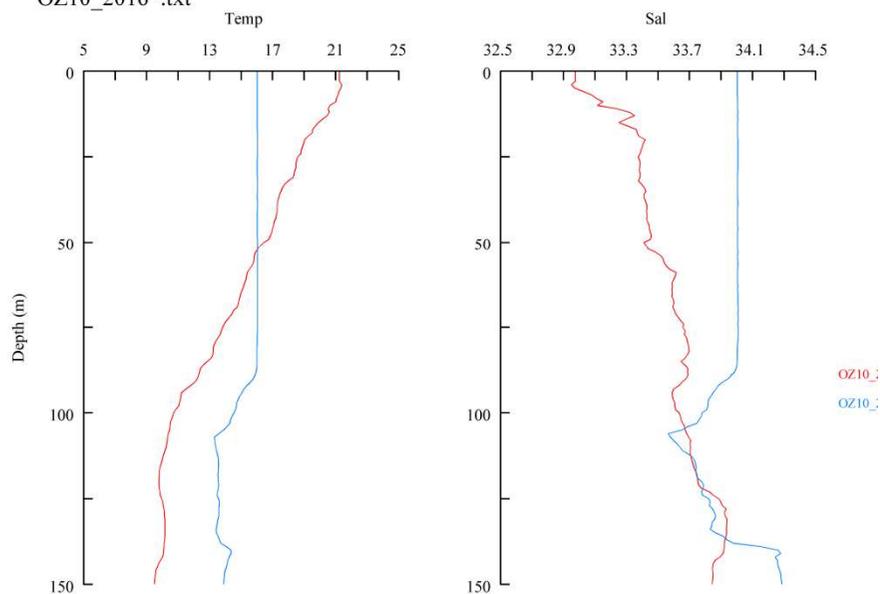
一次元モデルの再現性

① NCEP/DOEのみで駆動したケースの2ヶ月後の観測値との比較

観測値(9月, 11月)

D:/analy18/JANUS/1Dmodel_TSNut3_mixing_prep_hindcast/plot_TSpr_obs

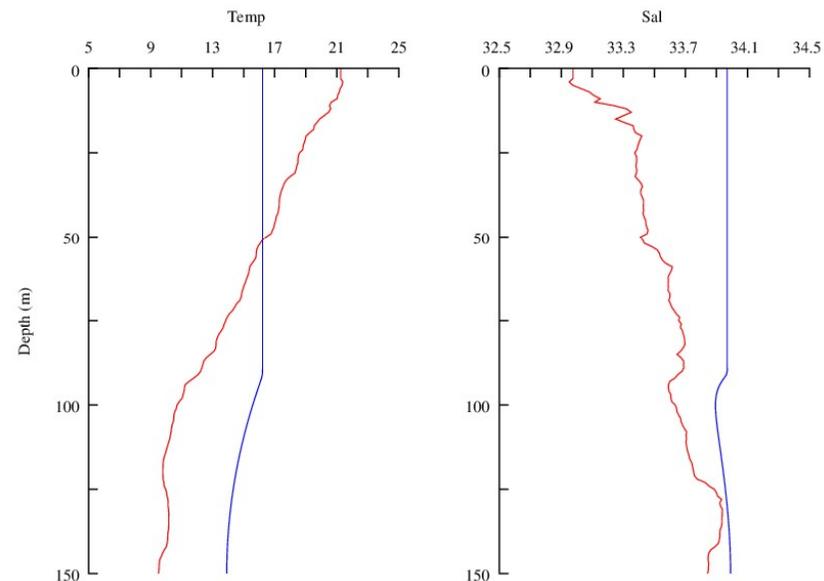
OZ10_2016*.txt



モデルによる11月の鉛直分布

(9月の観測値)

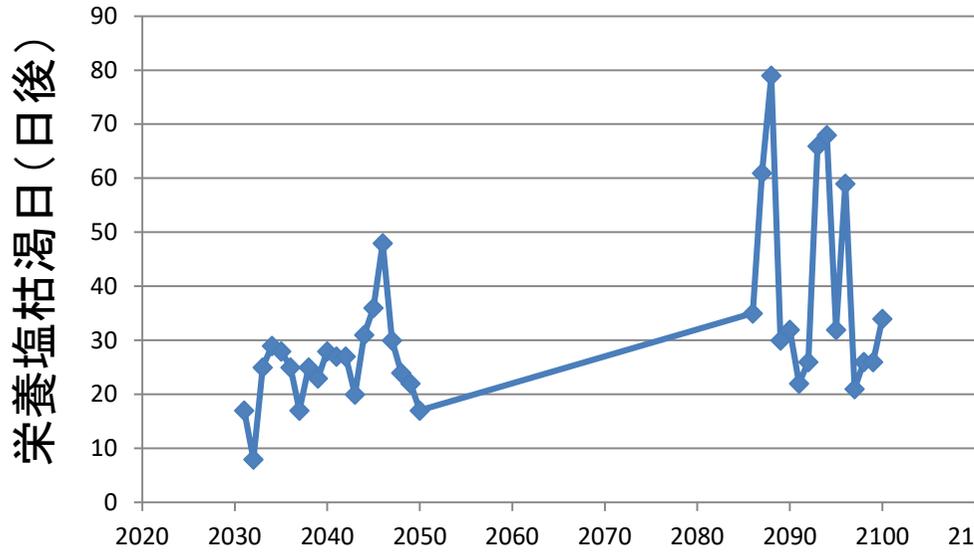
D:/analy18/JANUS/1Dmodel_TSNut3_mixing_prep_hindcast/plot_TSpr_IDM



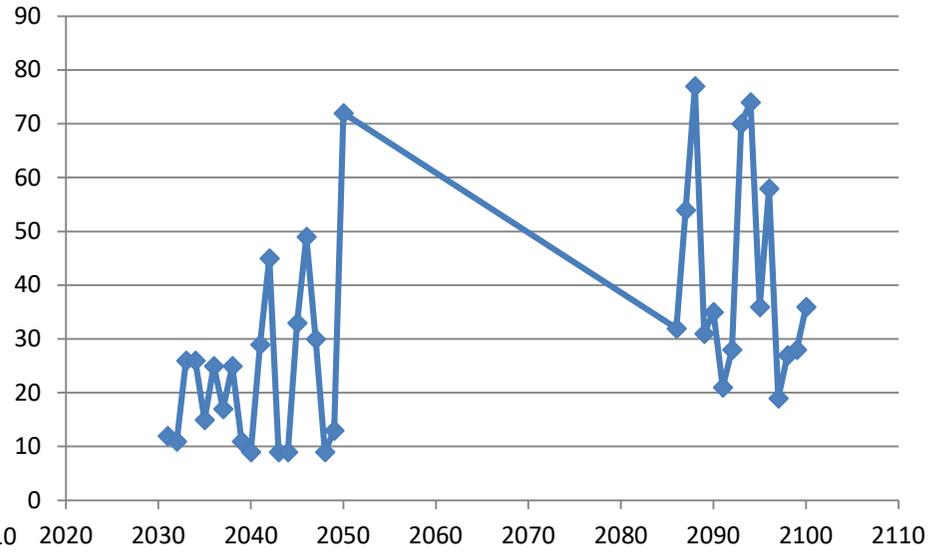
混合層深度の深化, 混合層内のT, Sをよく再現.

春の栄養塩枯渇日の比較(最終的な枯渇日)

初期値2017年3月



初期値2018年3月



	21世紀末	21世紀中期
平均	41.13333	25.35
分散	380.4095	66.87105
観測数	15	20
自由度	14	19
観測された分散比	5.688702	
P(F<=f) 片側	0.000325	
F境界値 片側	2.255614	

21世紀末の分散は21世紀中期に比べ有意に大きい。

	21世紀末	21世紀中期
平均	41.73333	23.75
分散	382.9238	271.25
観測数	15	20
自由度	14	19
観測された分散比	1.411701	
P(F<=f) 片側	0.238436	
F境界値 片側	2.255614	

21世紀末の分散は21世紀中期に比べ有意ではないものの大きい。

初期値の違いが栄養塩の枯渇パターンに違いを引き起こす