



講義 1

水産業における気候変動影響と 将来の適応策の考え方

水産研究・教育機構
中田 薫

国立研究開発法人 国立環境研究所 気候変動適応センター
令和3年度気候変動適応研修（中級コース）
2022年2月10日（木）

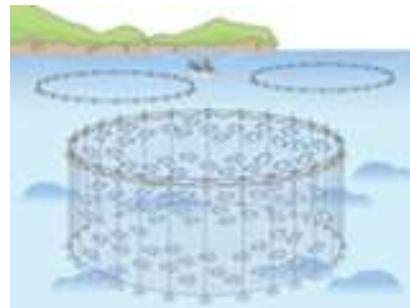


水産業における気候変動影響と 将来の適応策の考え方

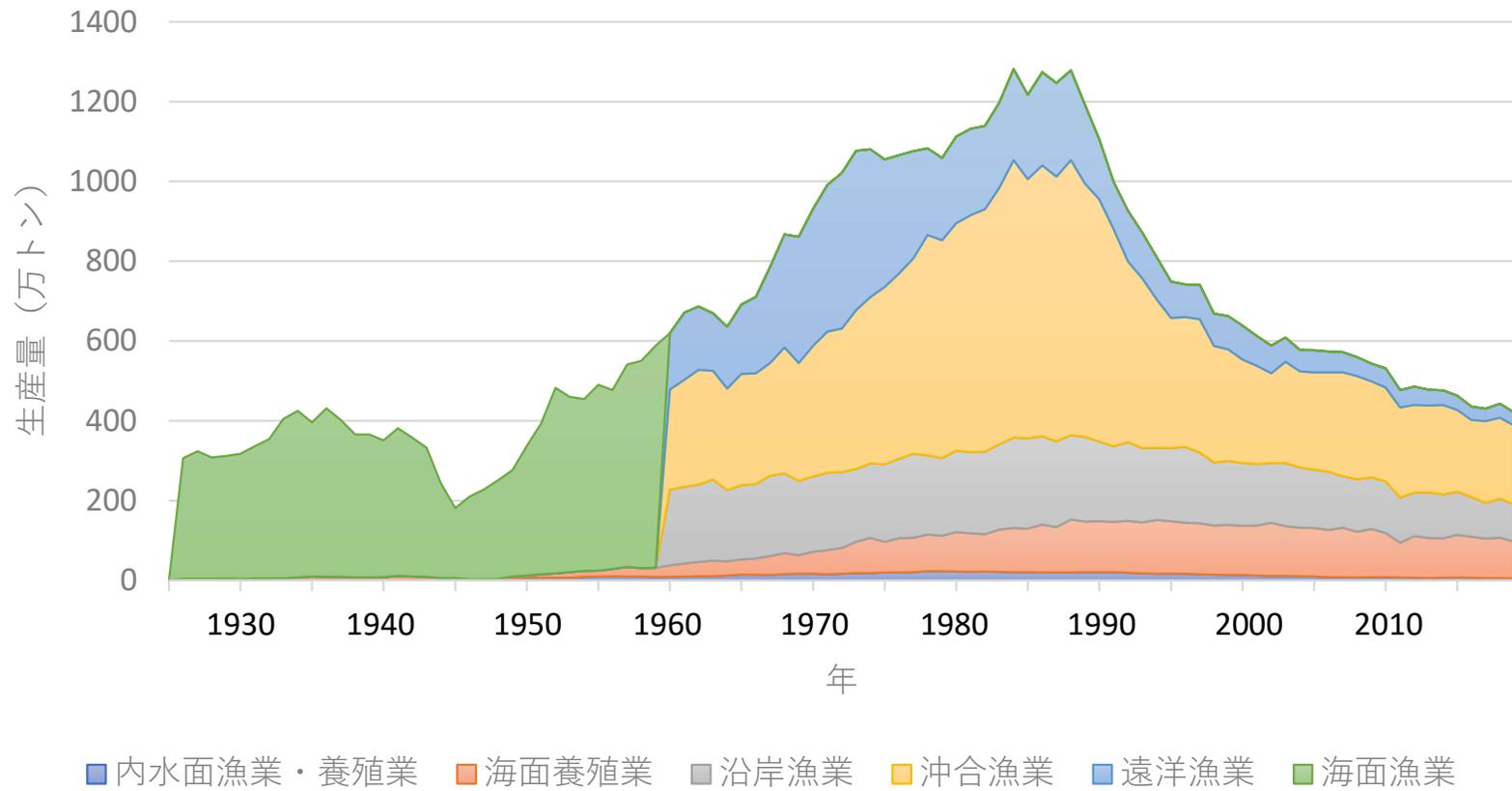
中田 薫

(水産研究・教育機構)

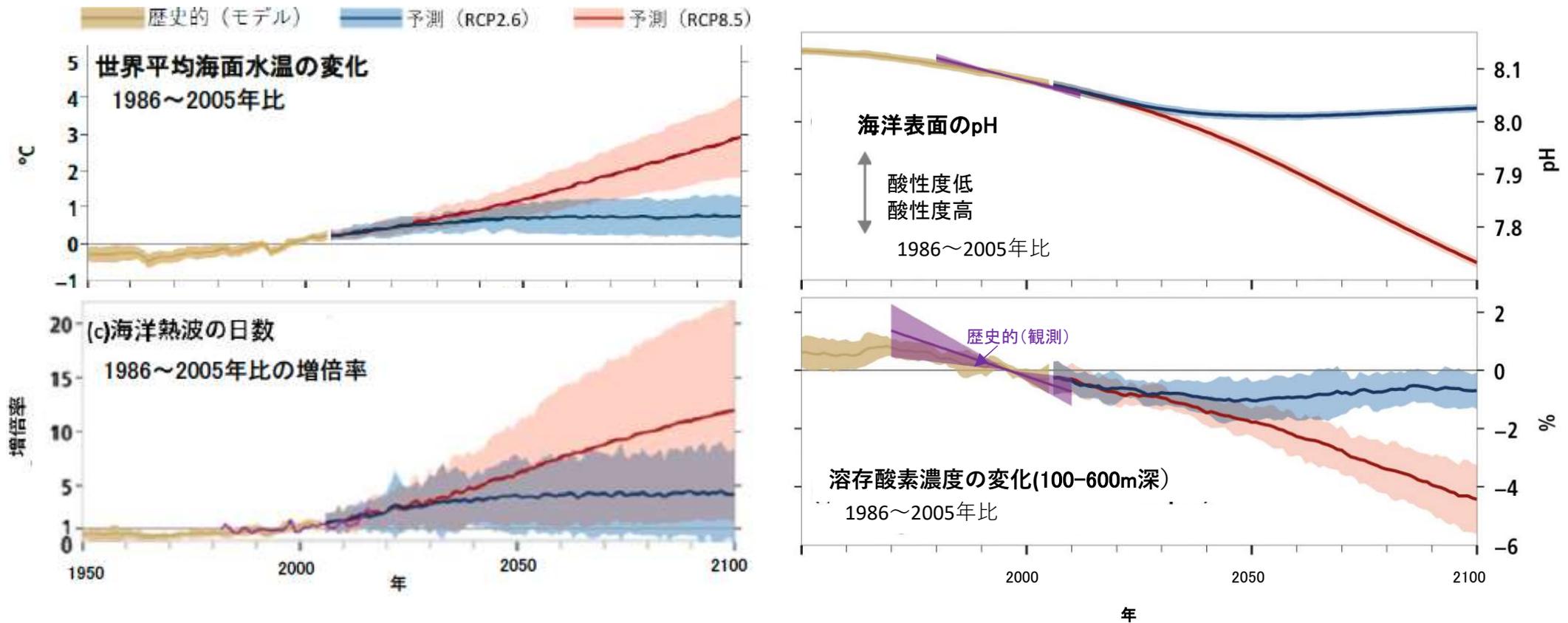
水産業とは、漁業、養殖業（漁業に含むこともあり）などのように営利目的で水産物を捕獲・生産する産業だけでなく、（水産）加工業、流通業、など水産物を扱う多様な産業が含まれる



1水産資源への気候変動影響について

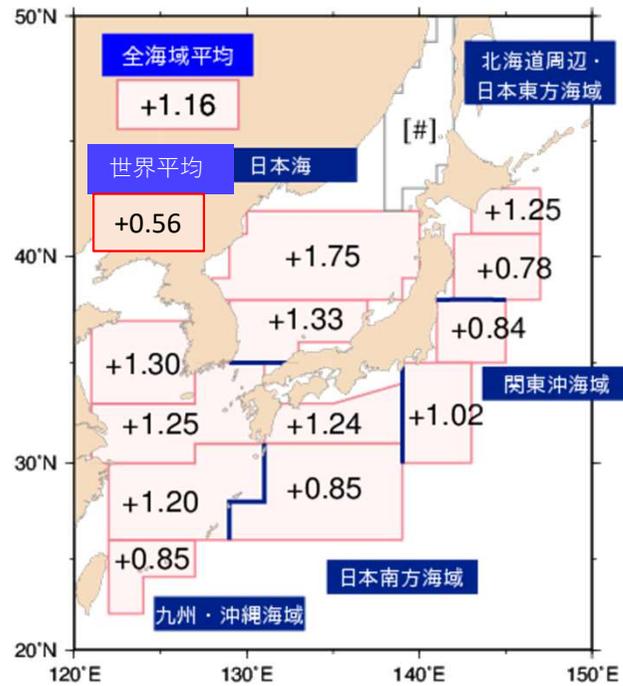


温室効果ガスの増加に伴う海洋環境の変化（IPCC, 2019; 海洋氷雪圏特別報告書より）



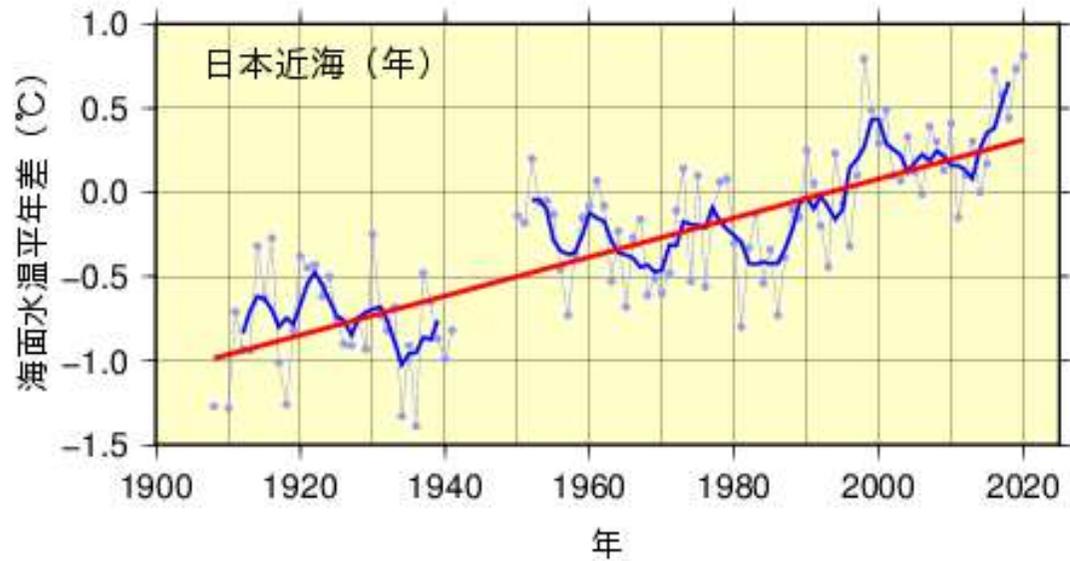
海洋熱波；日平均海面水温が1850-1900年の99パーセンタイルを超える現象が海洋熱波と定義。頻度、持続期間、空間的な広がり及び強度に関してさらに増加（確信度が非常に高い）。熱波の強度は、2081~2100年までに1850~1900年に比べて、RCP8.5で約10倍に増大（確信度が中程度）。

近年の日本周辺の水温の変化



日本周辺における年平均表面水温の上昇率 (°C/100年) の現況

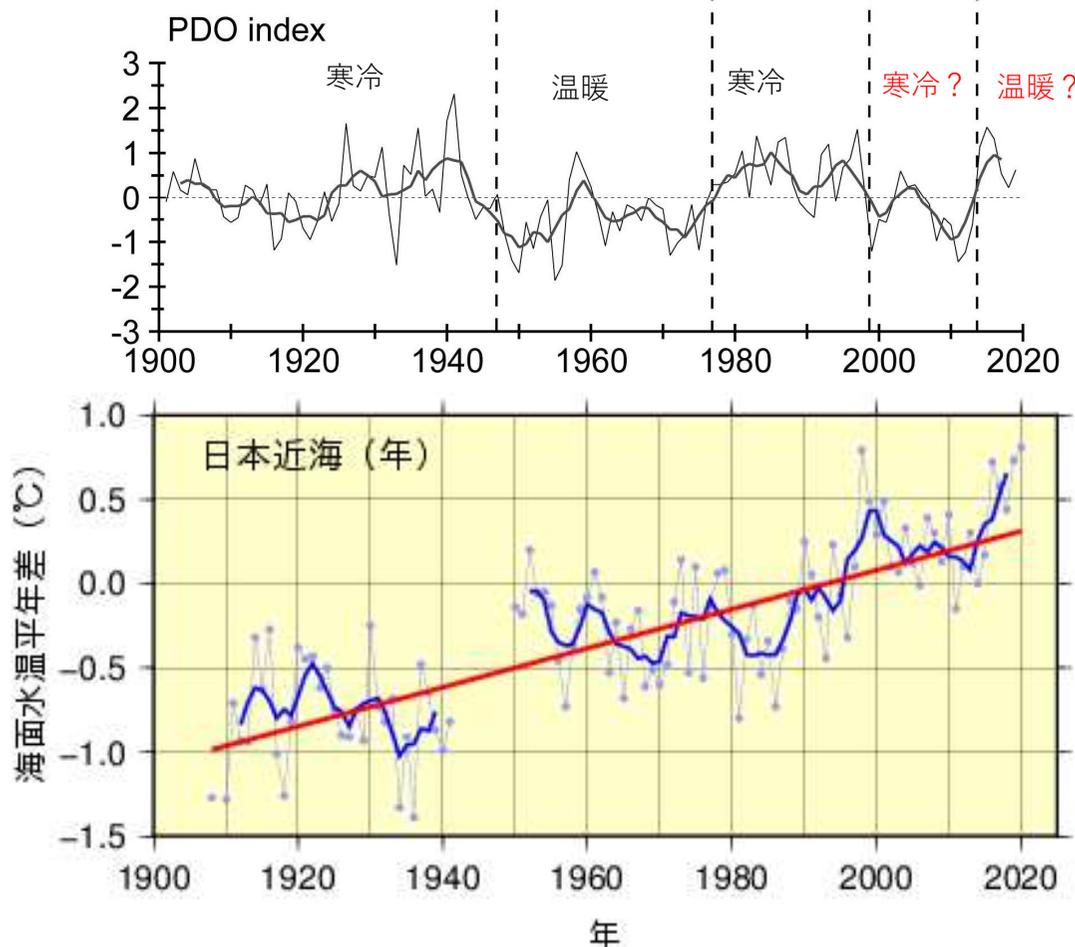
https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html



日本近海の全海域平均海面水温 (年平均) の平年差の推移

https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html

日本周辺の表面水温の変化と10年規模の気候変動



日本近海の全海域平均海面水温（年平均）の平年差の推移
https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html

@一般にレジームシフト時の変化速度は各レジーム期間中の変化や所謂温暖化に伴う水温上昇速度より大きい

@過去に見られたPDO指数などの気候指数と水温との関係性が2000年以降、気候変化（温暖化）の下で変化 (Litzow et al., 2020)

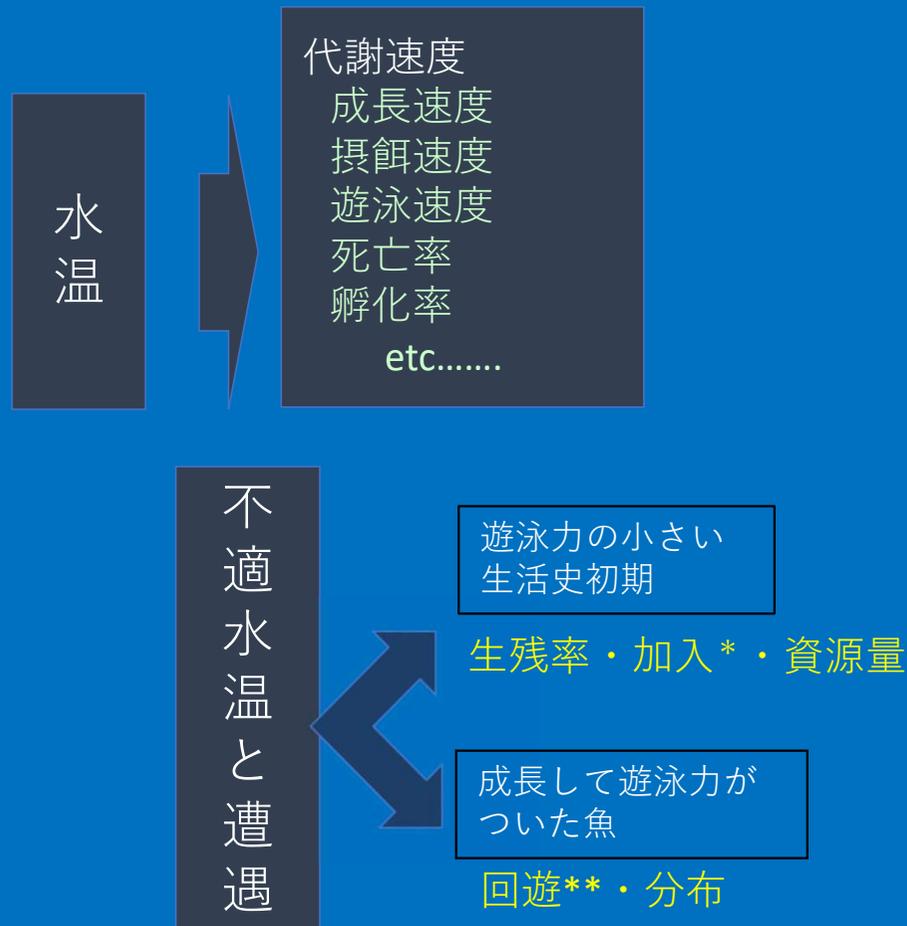
@ PDO indexが正（負）の値をとると日本近海は寒冷（温暖）となる傾向があったが、この関係性が変化 (Kuroda et al., 2020)

The past may not be repeated in the future (Kuroda et al., 2020).

モニタリングの重要性！

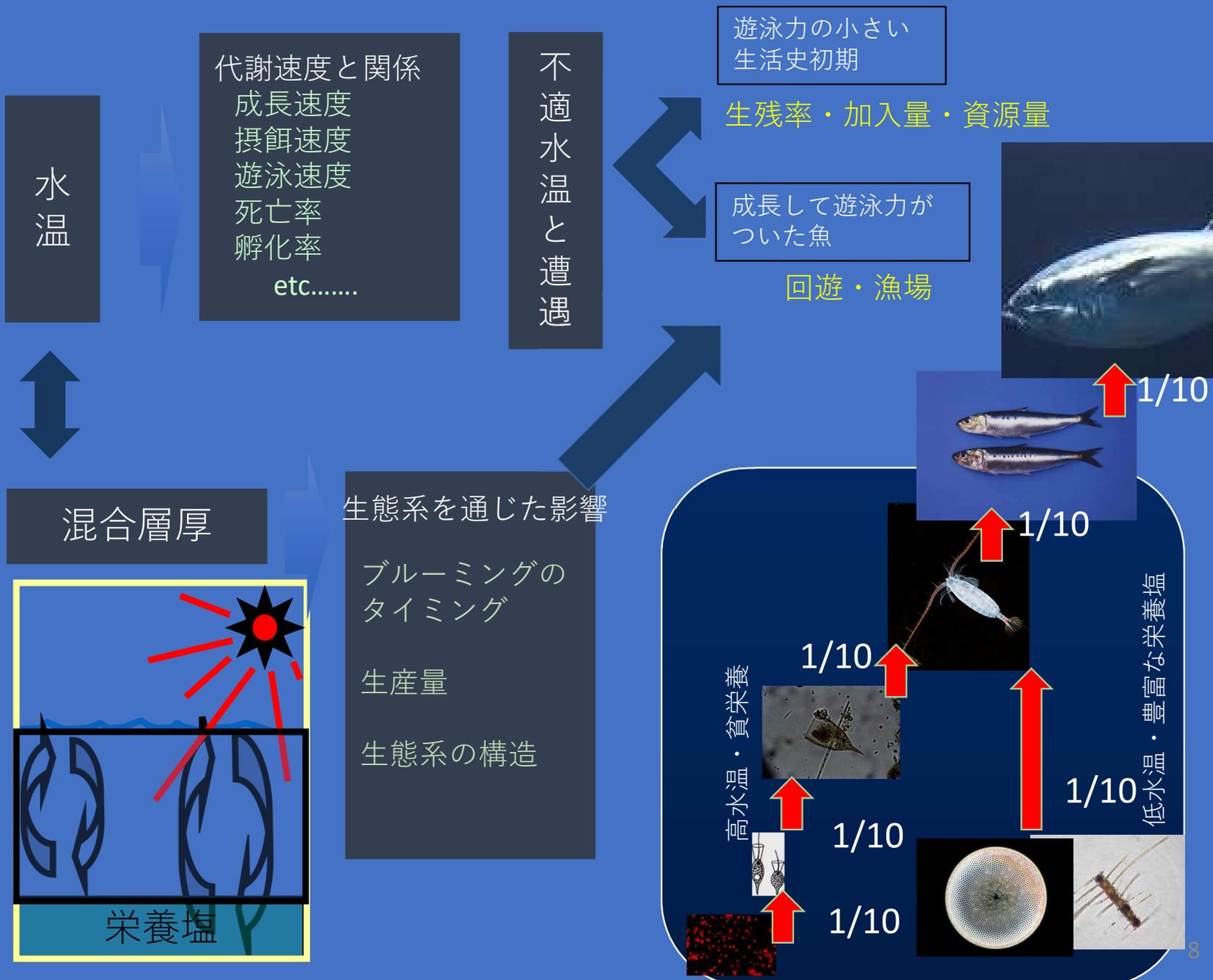
PDO index（太平洋10年規模振動指数）；北太平洋の水温環境に影響する要因として知られ、19001~2000年における北緯20度以上の太平洋の表面海水温（SST）の温暖化トレンドに対する偏差のデータを主成分分析した時の第一主成分時系列値（PC1）を指標として用いる。

水温上昇が魚類に及ぼす影響①



- * 加入；個体が成長して漁業の対象に加わること。また、漁獲開始年齢に達した資源量を加入量という
- ** 回遊；魚類や鯨などが定期的に海洋を索餌・産卵のため、あるいは適水温を求めて季節の移り変わりに応じて移動・往復すること。

水温上昇が魚類に及ぼす影響②



代謝速度と関係
 成長速度
 摂餌速度
 遊泳速度
 死亡率
 孵化率
 etc.....

不適水温と遭遇

遊泳力の小さい
 生活史初期

生残率・加入量・資源量

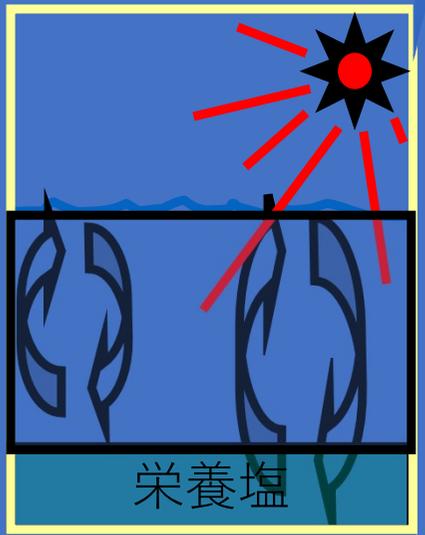
成長して遊泳力が
 ついた魚

回遊・漁場



水温

混合層厚

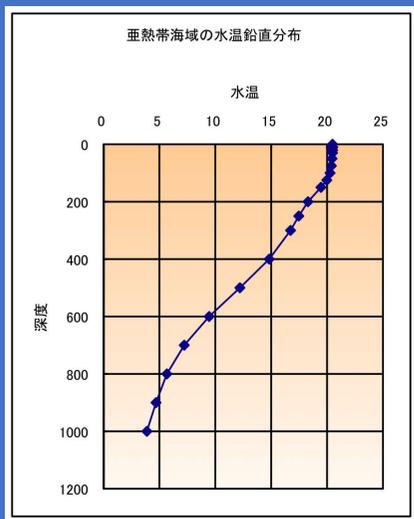


生態系を通じた影響

ブルーミングの
 タイミング

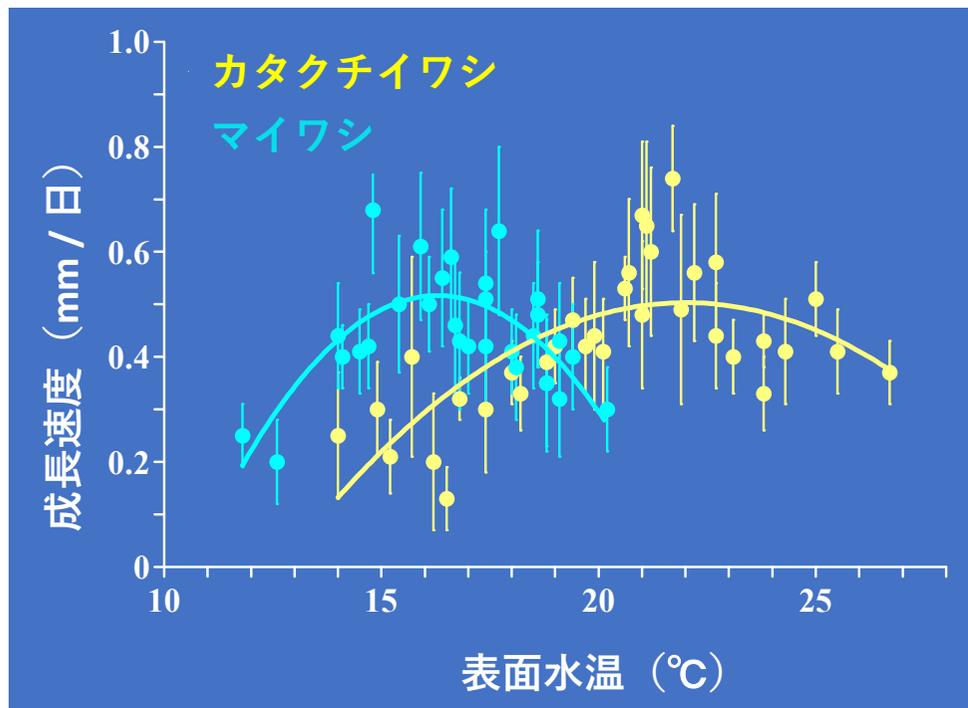
生産量

生態系の構造



魚類の生活史初期の成長速度、加入と水温

- 死亡率、生残率、加入が水温と関係 (例Noto & Yasuda, 1999; Takasuka et al., 2021)
- 生残率や死亡が成長速度と関係 (例Takasuka et al., 2004; Kamimura et al., 2015)
- 成長速度が水温と関係 (例Takasuka et al., 2007; Takahashi et al., 2021)



- 魚種により異なる仔稚魚期の成長速度と水温の関係が存在
- 成長の適水温を超えると、成長や生残が悪化する傾向。
- 種類や水温帯により、1°Cの変化でも成長や生残に大きく影響する可能性

マイワシとカタクチイワシ仔魚の成長速度
と表面水温の関係

Takasuka et al. (2007)

分布・回遊の変化

生物の分布が極方向に移動

- 1950年以降の極方向への移動の世界平均： 52 ± 33 km/ 10年（表層生態系）
： 29 ± 16 km/ 10年（底生生態系）
(IPCC, 2019; 海洋氷雪圏特別報告書)
- 海洋生物では陸上生物より6倍速く極方向へ分布の移動 (Lenior et al., 2020)
- 舞鶴湾での潜水モニタリングによる出現魚種の変化は330km/35年という北上速度に匹敵する変化 (Masuda, 2008)

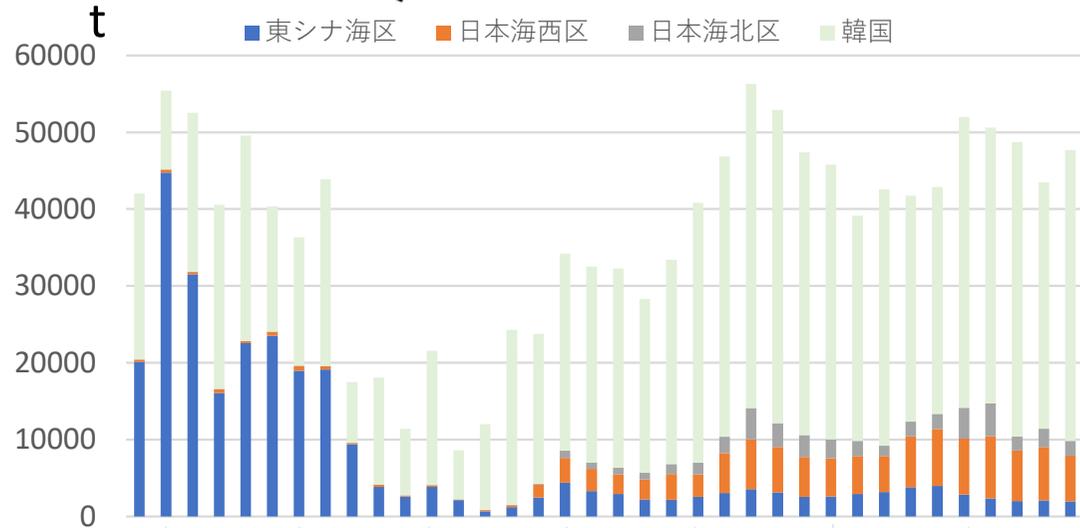


すでに水産業への影響が顕在化

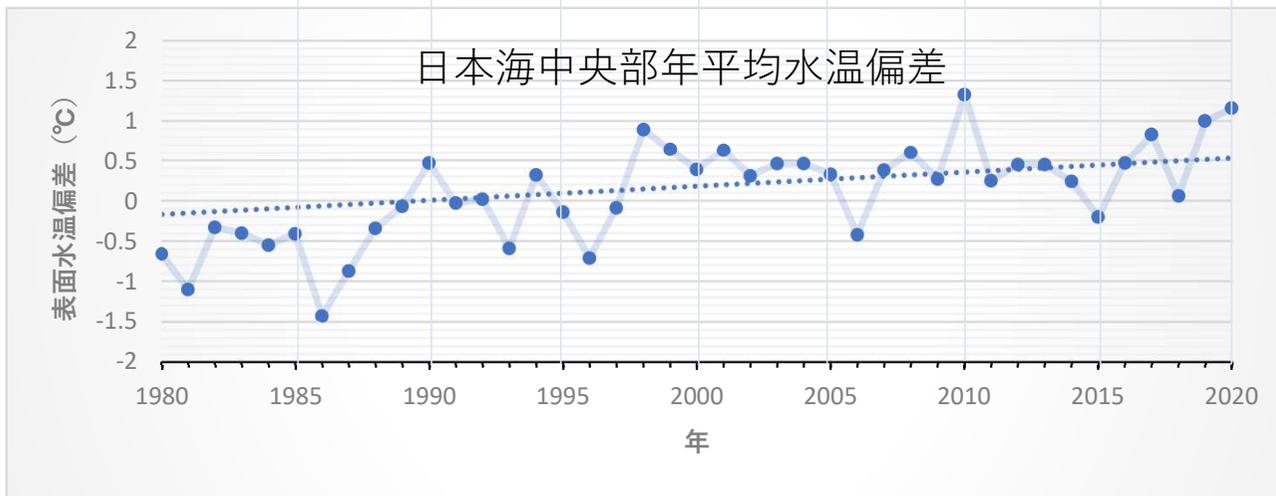
影響例；分布の変化 ①



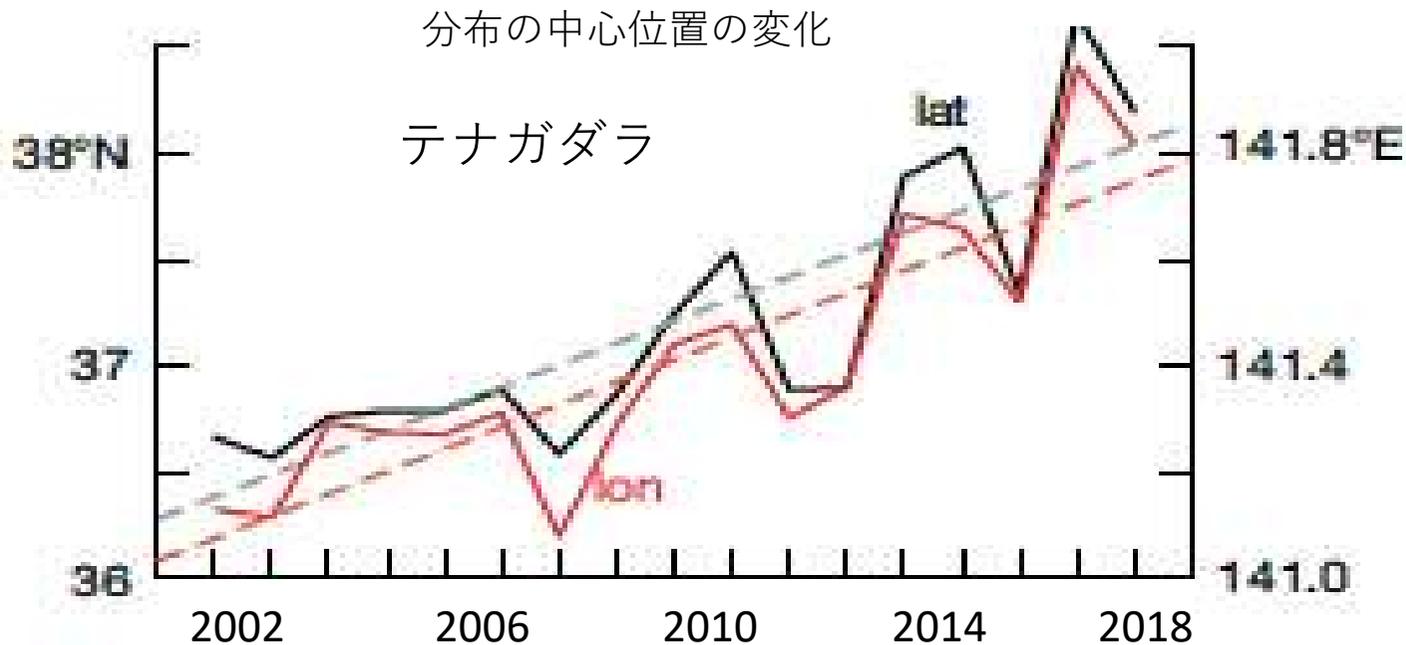
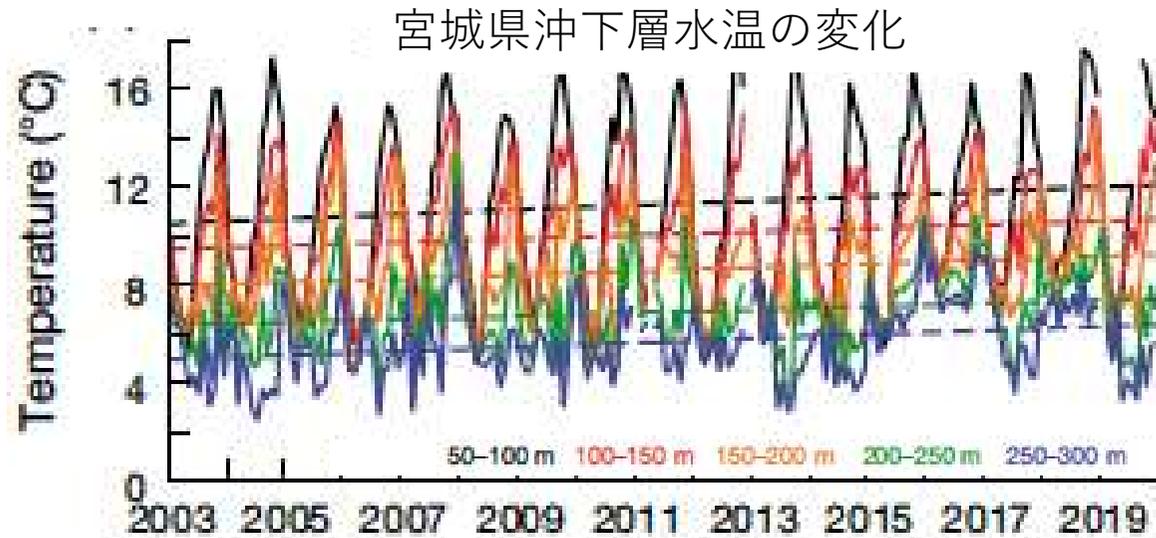
サワラ東シナ海系群漁獲量



日本海で水温偏差が継続的に正の値をとるようになった1998年以降、サワラ漁獲量に占める韓国や日本海西区の割合が増え、日本海北区でも漁獲が見られるようになった。



影響例；分布の変化②

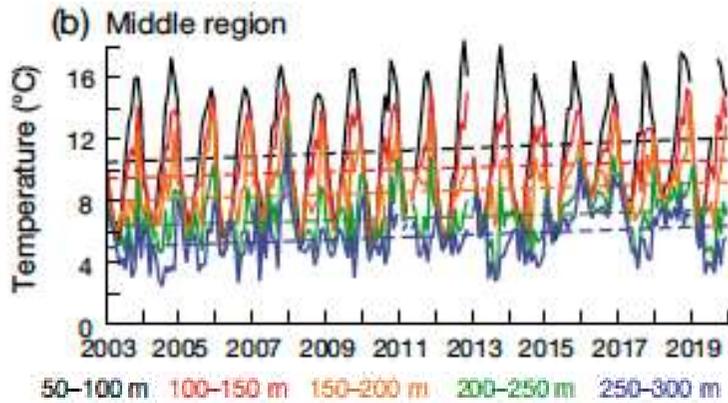


底魚類分布変化（若鷹丸調査）の例。2000年代に入り分布の中心の北上・沖合傾向が顕在化

(Takehi et al., 2021)

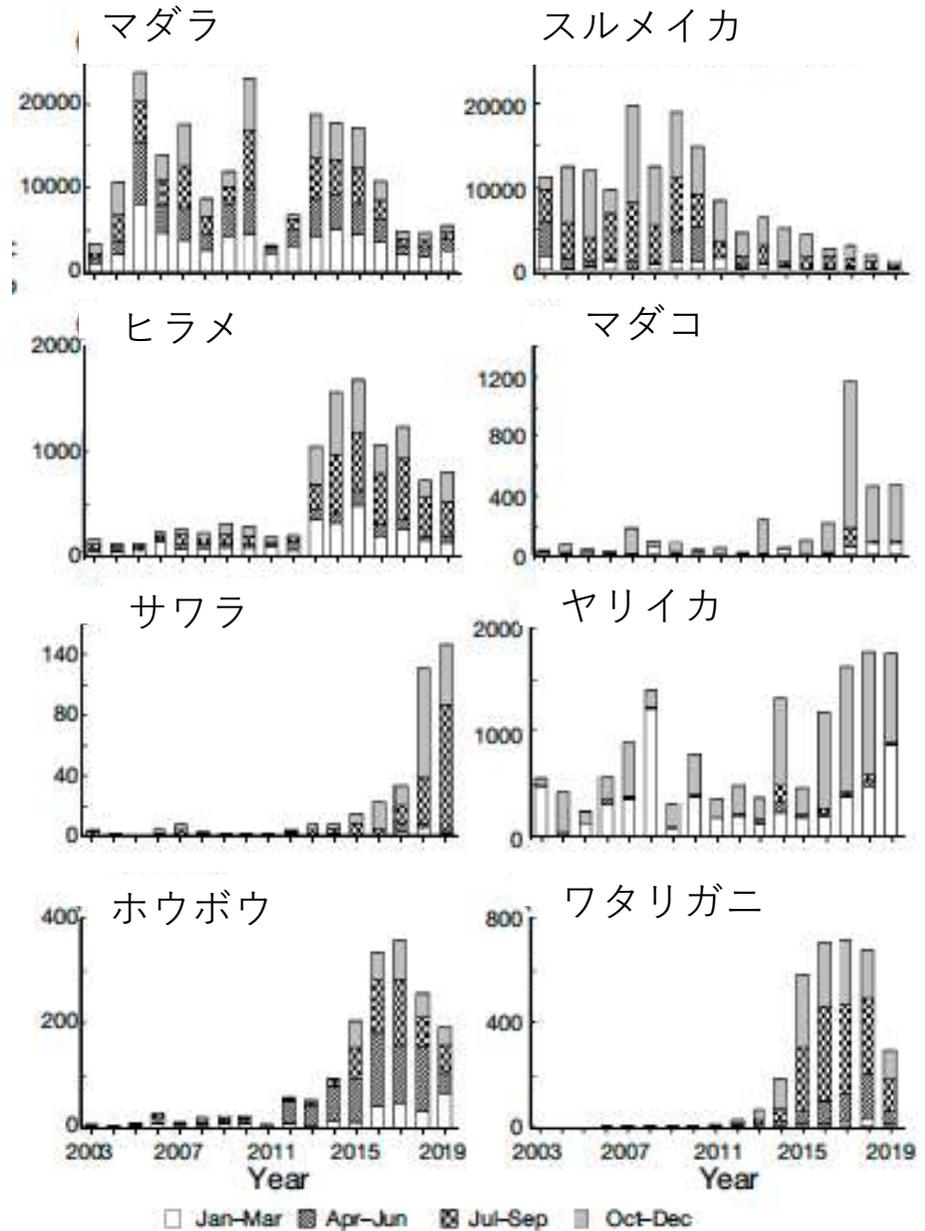
影響例 分布の変化③

②東北太平洋岸の底魚類



底魚類陸揚げ量の変化（宮城県9市場陸揚げデータ）。2010年代半ば頃から顕著に増加/減少した種類が存在

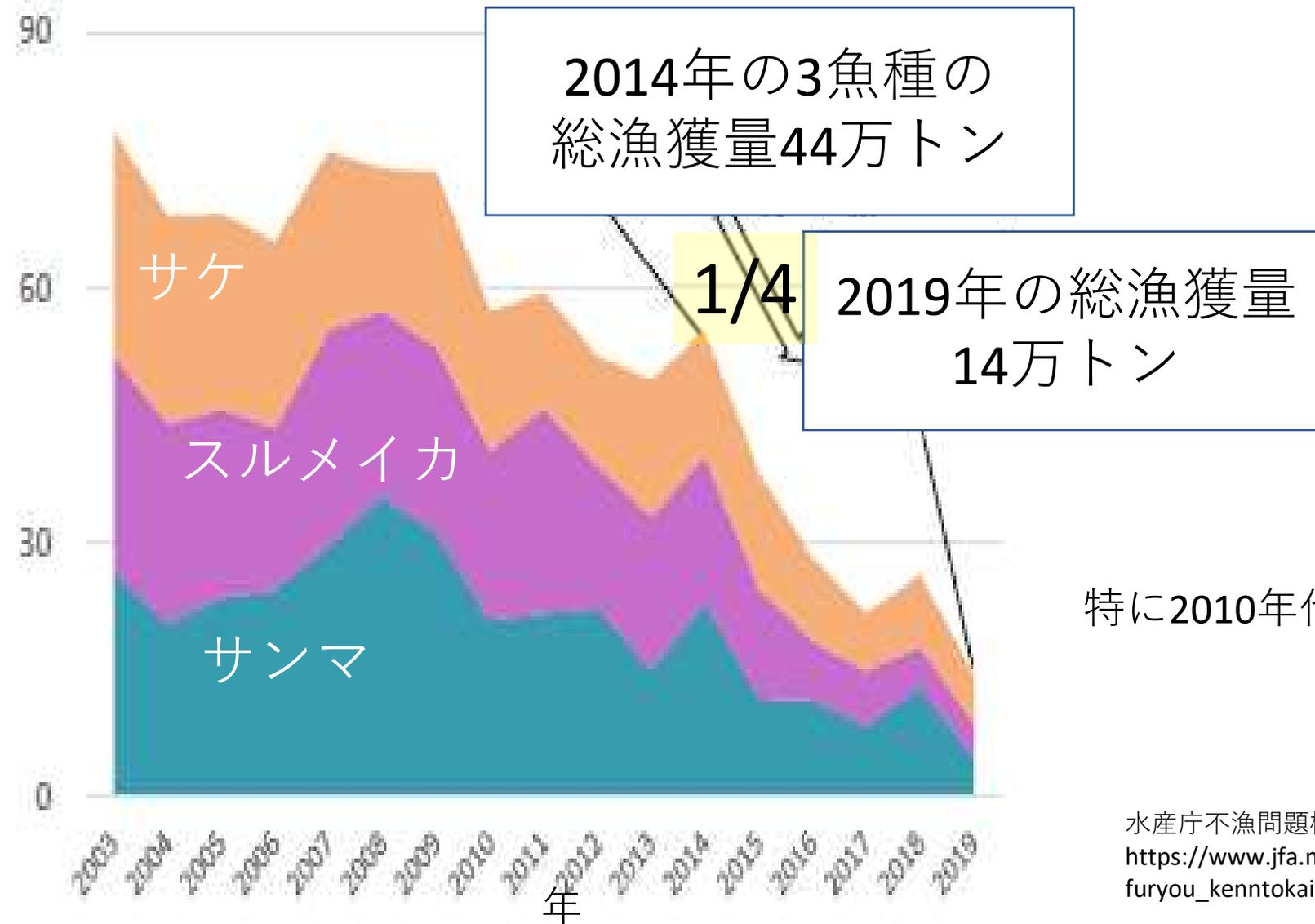
陸揚げ量 (t)



影響例；不漁問題

気候変動に伴う海洋環境の変化により従来とれていたサケ、スルメイカ、サンマなどがとれない状態が複数年継続して深刻な不漁となっている

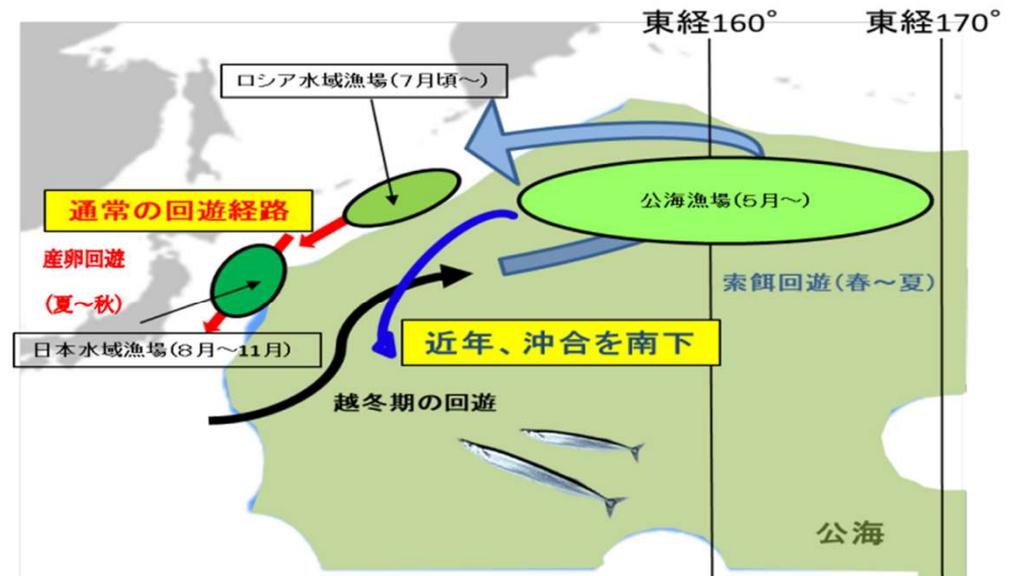
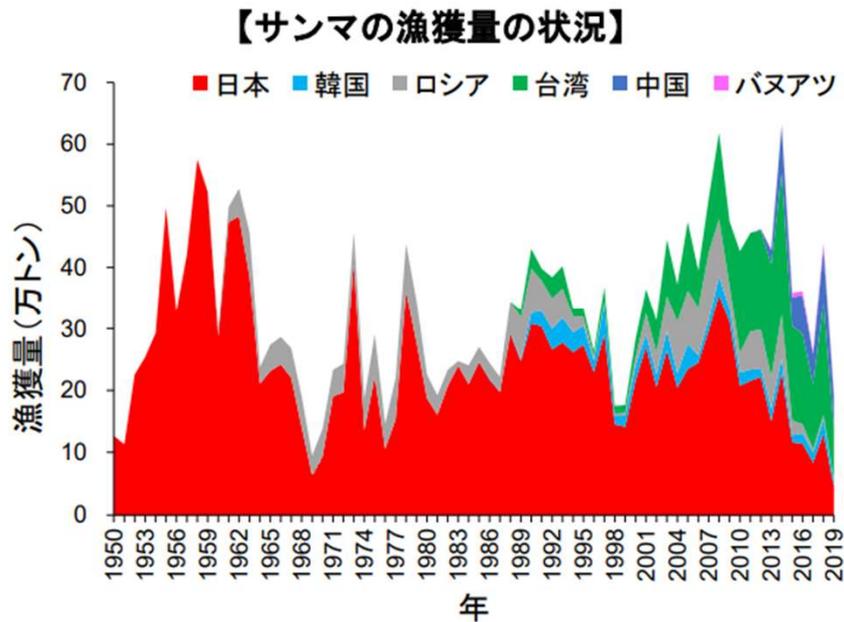
(x10⁴ ton)



特に2010年代半ば以降深刻

サンマの不漁問題

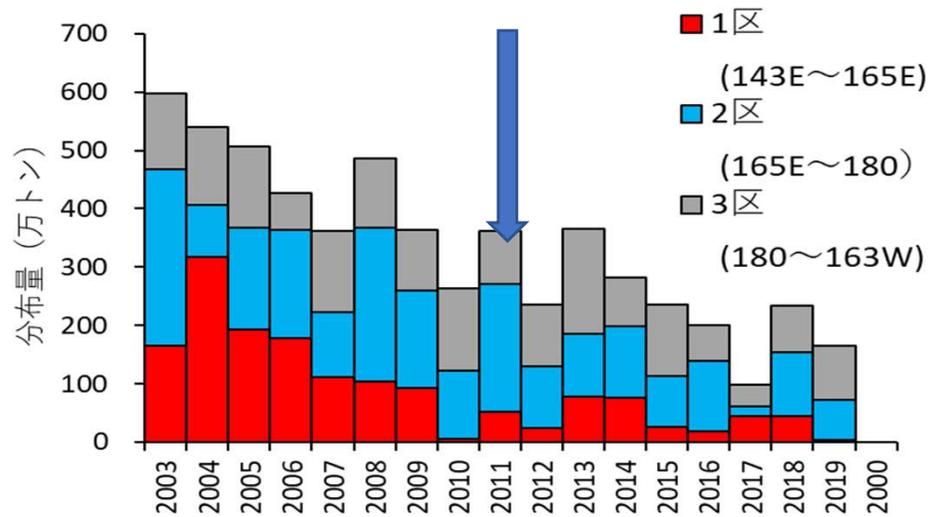
2000年代後半に日本水域の漁獲が減少し、2010年代半ば頃から公海域も含めた漁獲量が減少



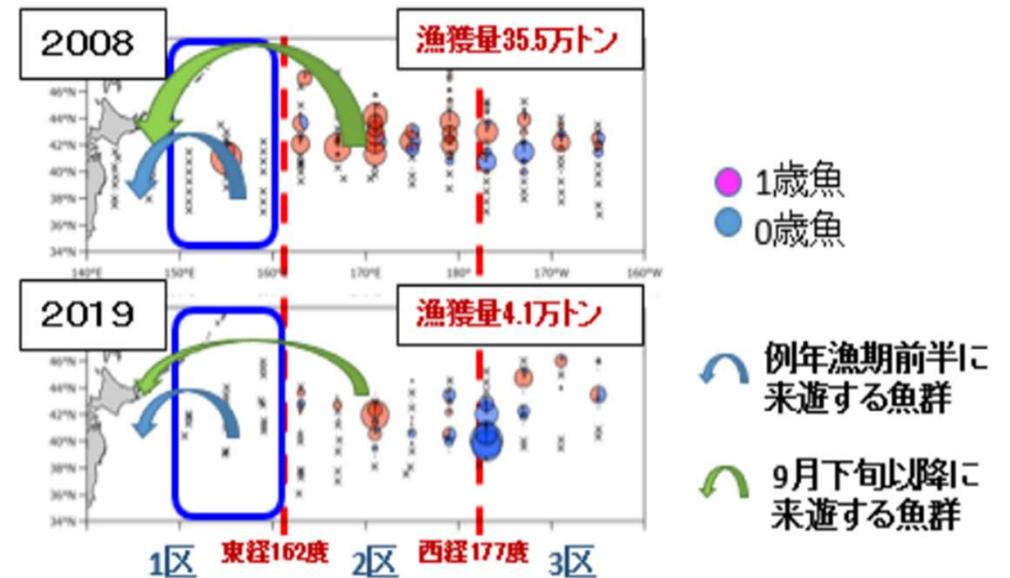
「不漁問題に関する検討会 とりまとめ」(農林水産省) より抜粋
https://www.jfa.maff.go.jp/j/study/attach/pdf/furyou_kenntokai-19.pdf

分布や回遊の変化が生じている

漁期前のサンマの分布に現れた変化

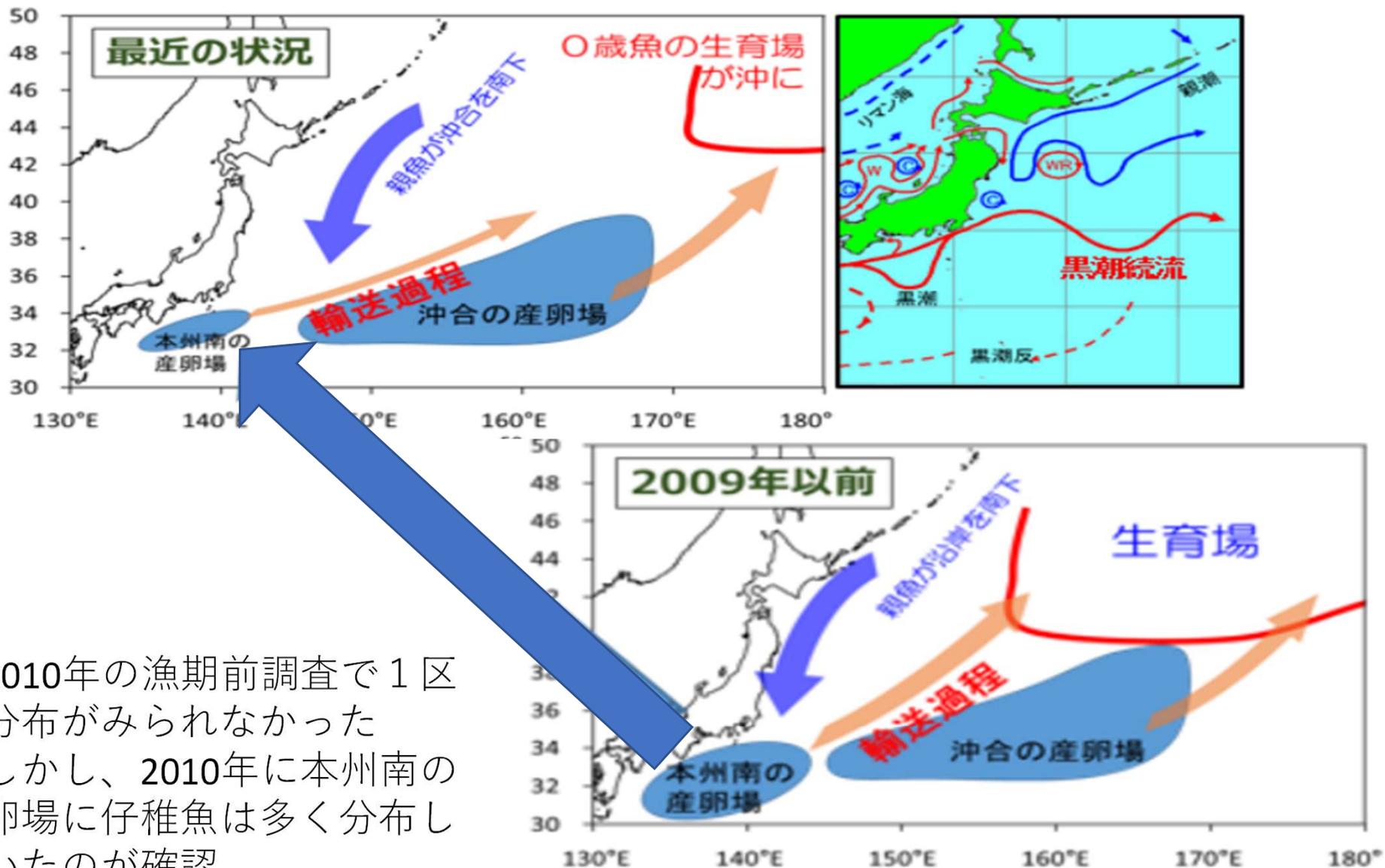


【サンマの分布状況（6月～7月）】



漁期前調査における海区別分布量の変化
 2010年6～7月の1区分布量が極端に低水準化
 その後1区では低い水準が維持。2区でも低下傾向

サンマの産卵場と生育場の変化のイメージ

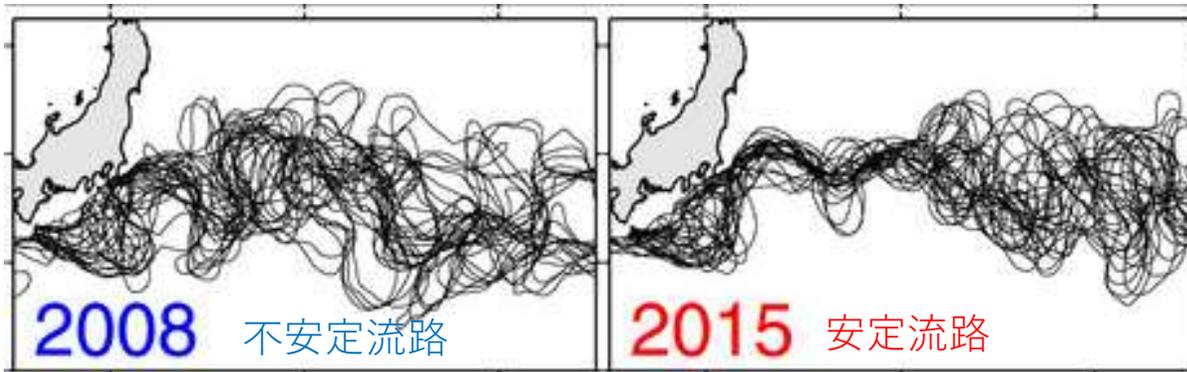


- ・ 2010年の漁期前調査で1区
の分布がみられなかった
- ・ しかし、2010年に本州南の
産卵場に仔稚魚は多く分布し
ていたのが確認

「不漁問題に関する検討会 とりまとめ」（農林水産省）より抜粋
https://www.jfa.maff.go.jp/j/study/attach/pdf/furyou_kenntokai-19.pdf

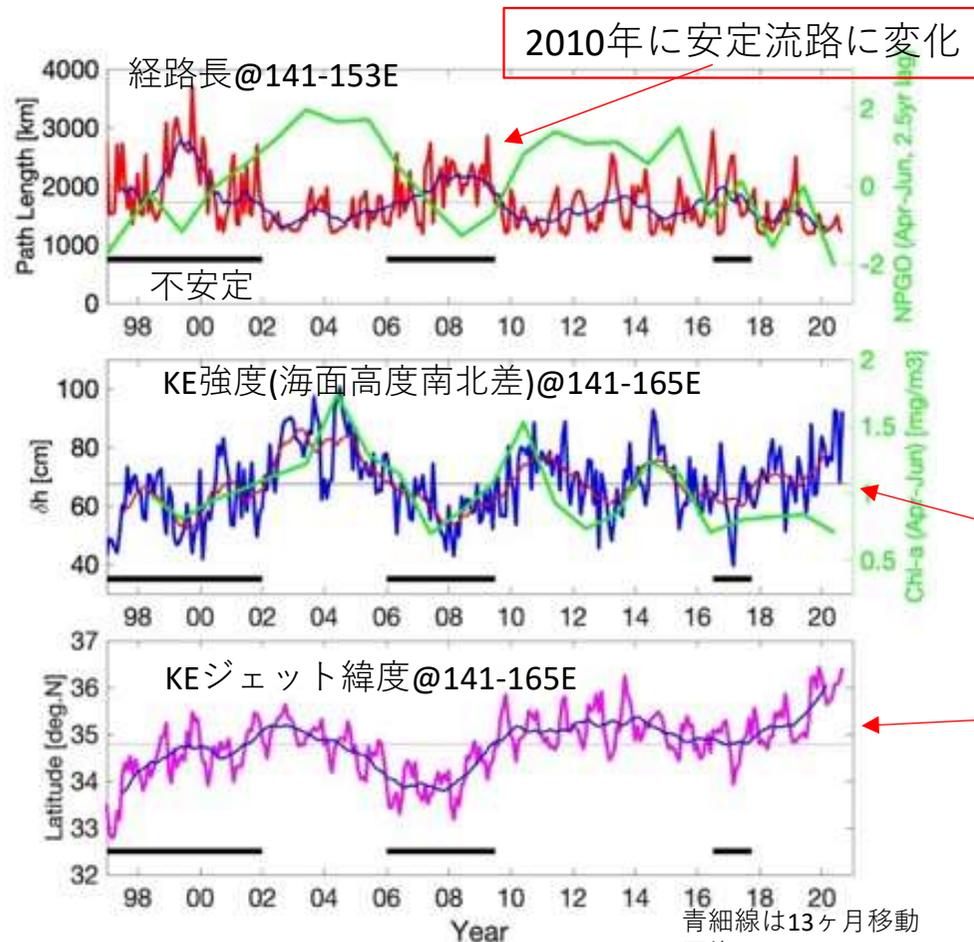
- ・ 2010年冬生まれのサンマは生残できなかったのか？沖に運ばれたのか？
- ・ 海洋環境はこの現象にどう影響したのか？

2010年以降の東北～北海道沖の海洋環境の変化 その1

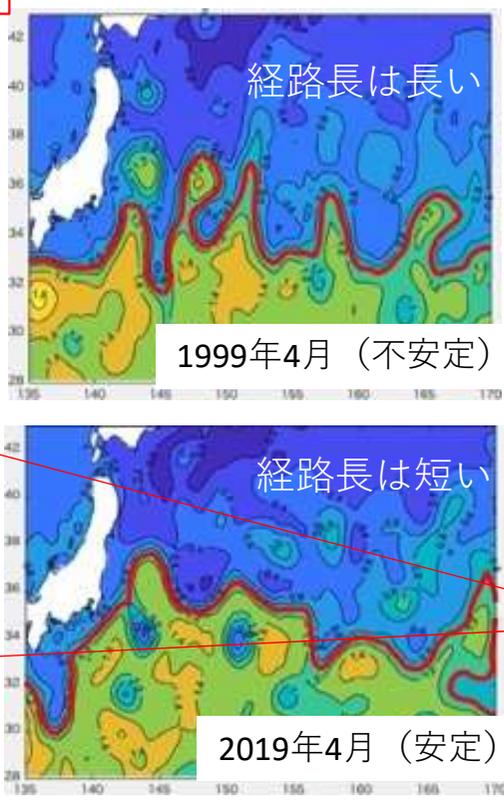


- 2010年に続流は不安定流路から安定流路に変化

Qiu et al.(2020)



2010年に安定流路に変化



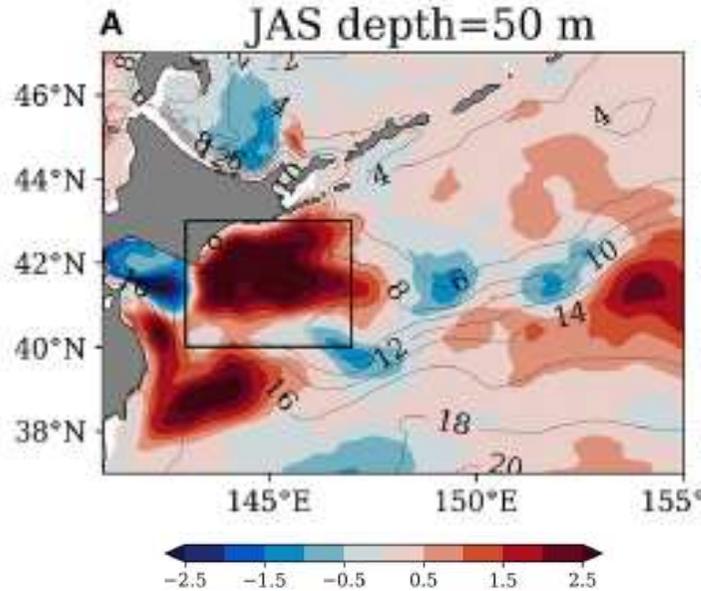
- 2010年に常磐で発生した暖水塊が2016年秋季まで釧路沖で停滞
- 2010年以降，続流の流路は北偏傾向，2017年以降に，北偏が強化

近年は安定流路で北偏

青細線は13ヶ月移動平均
黒細線は平均値

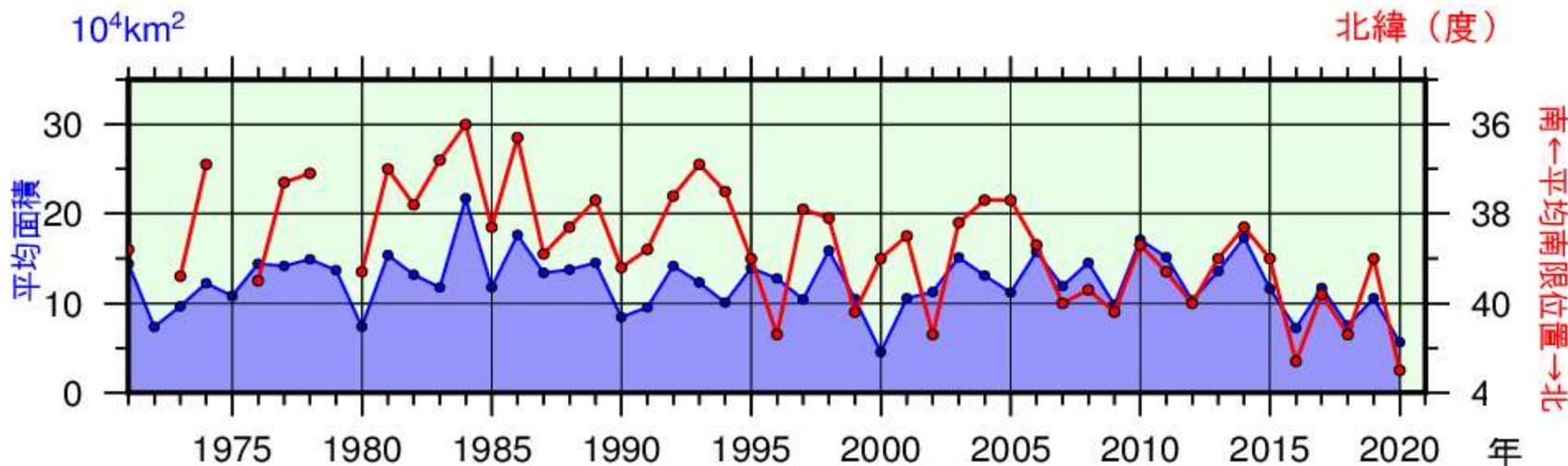
(FRA 資源研寒流第2グループ 田中氏作成)

2010年以降の東北～北海道沖の海洋環境の変化 その2

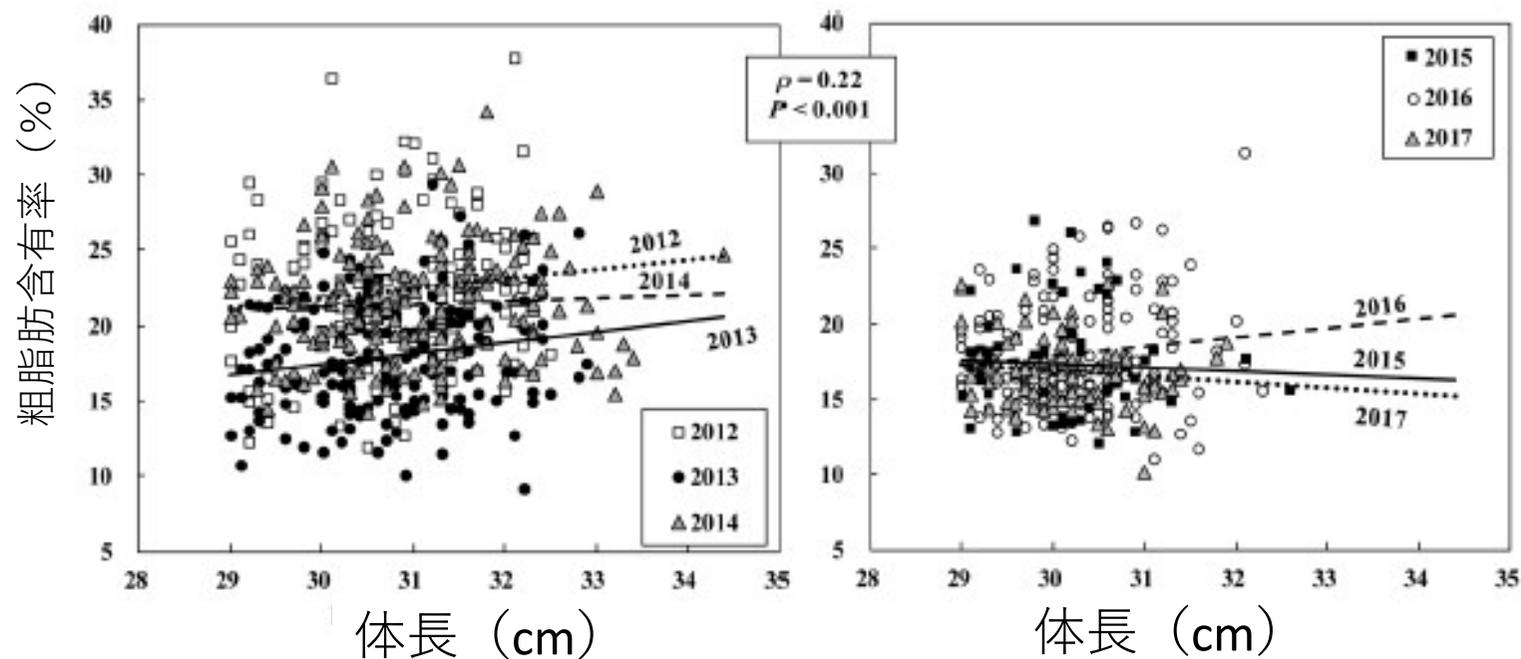


1993-2009年7-9月と2010-2016年7-9月の
50m層平均水温の差(Miyama et al., 2021)

- ・ 2010～2016年、北海道・東北沖で海洋熱波が頻発 (Miyama et al., 2021)
- ・ 北海道南東岸沖、親潮の弱化北退傾向 (Kuroda et al, 2014)



近年のサンマの栄養状態の変化

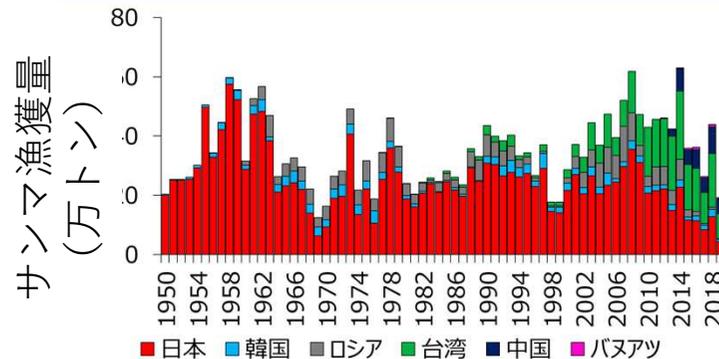


谷津ら (2019)

36–48° N, 141–154° Eでさんま棒受網漁船または定置網により2012–2017年9–12月に漁獲され、女川魚市場に水揚げされたサンマの粗脂肪含有率。近年、脂乗りのいい個体の割合が少ない傾向

餌環境も変化？

海洋環境と漁獲の影響



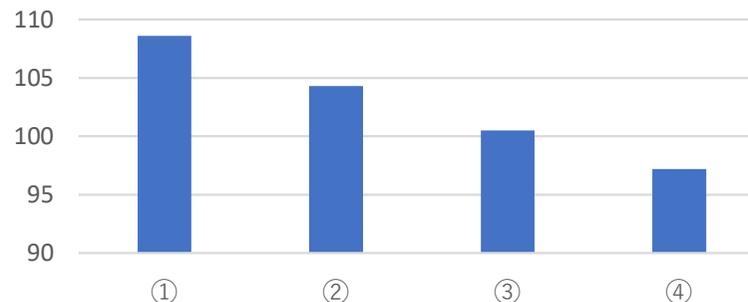
- 2010年前後から日本、ロシア以外の公海域での外国漁船による漁獲が増加。
- 漁獲の影響も考える必要性

出所：NPFC 第1回サンマ科学委員会特別会合(2021年1月)レポート(農林水産省)
http://kokushi.fra.go.jp/R02/R02_80_SAP.pdf

Yatsu et al. (2021) ;

- 漁期前調査のCPUE (2003~2018) を1983~2018年にまで延長できるように工夫
- 延長したCPUEの経年変動に最も当てはまりが良いモデル (GLM) を①環境要因だけ、②漁獲努力量だけ、③環境と漁獲努力量、④環境と漁獲努力量及び外国漁船のある時期からの漁獲努力量の変化の影響を考慮、のそれぞれについて求めた
- ①~④で得られたモデルの当てはまりをAICで比較
- ④の当てはまりが最もよく、①や②の再現性はあまりよくなかった

4つのモデルのAICc (修正情報量基準)

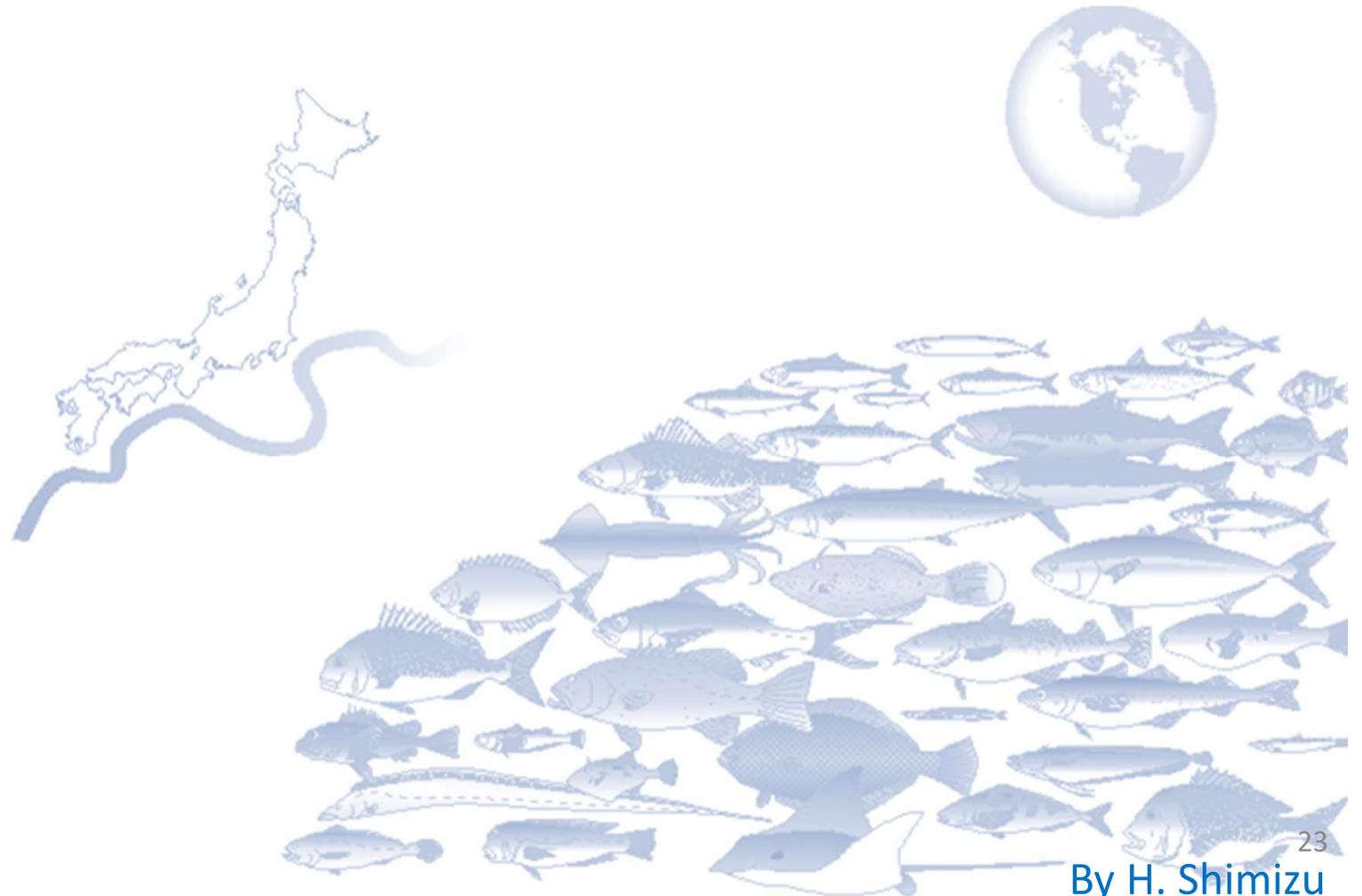


サンマの資源量は環境要因と漁獲の両方の影響で変化

気候変動の水産資源への影響のまとめ

- ・ 様々な資源で分布や加入への海洋環境の変化の影響が観察
- ・ 変化のタイミングは太平洋10年規模振動と対応。ただし、2000年以降、気候指数と水温の関係性に変化が生じている。この変化には気候変化（温暖化）の影響が指摘
- ・ サンマの不漁問題について、黒潮続流の流路パターンや親潮の北偏などの海洋環境の変化が影響すると同時に漁獲圧も影響している可能性。

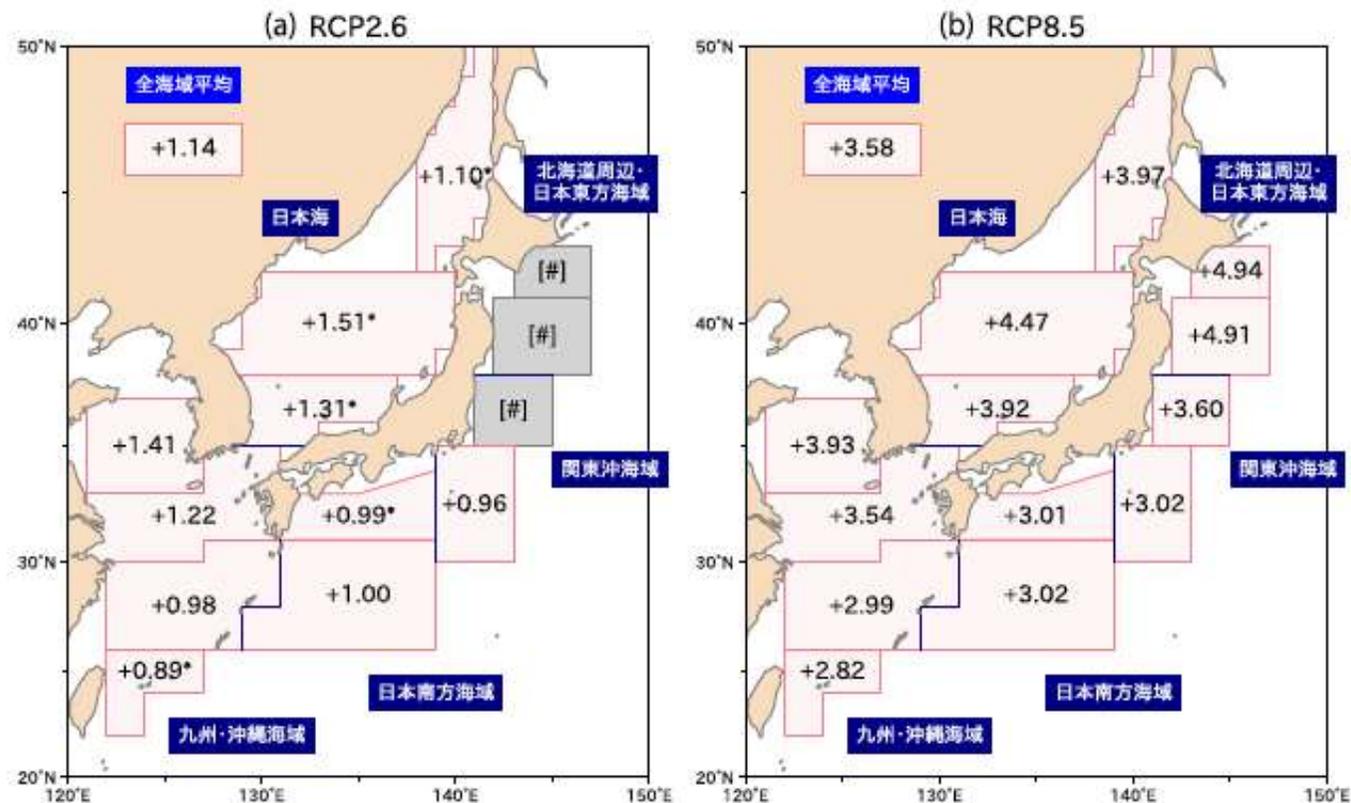
2 水産業における適応策の考え方



日本周辺の海洋環境の将来予測

「気候変動適応技術社会実測プログラム (SI-CAT)」において作成された将来予測データセット (FORP) に基づく、21世紀末における日本近海の海域平均海面水温 (年平均) の20世紀末からの上昇幅

(a)RCP2.6、(b)はRCP8.5による見積り。



日本の気候変動2020【詳細版】 (気象庁) p145
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/2020/pdf/cc2020_shousai.pdf

漁業・養殖業のための適応

気候変動適応とは、自然生態系や社会・経済システムを調整することにより気候変動の悪影響を軽減する（または気候変動の好影響を増長させる）ことをいう。気候変動対策のもう一つの柱である緩和を最大限行っても避けられない気候変動影響に対しては、その被害を軽減し、より良い生活にしていく「適応」が重要。

漁業・養殖業のための適応オプション（繋がりと広がり）

制度・政策と管理（国、地方の行政等）

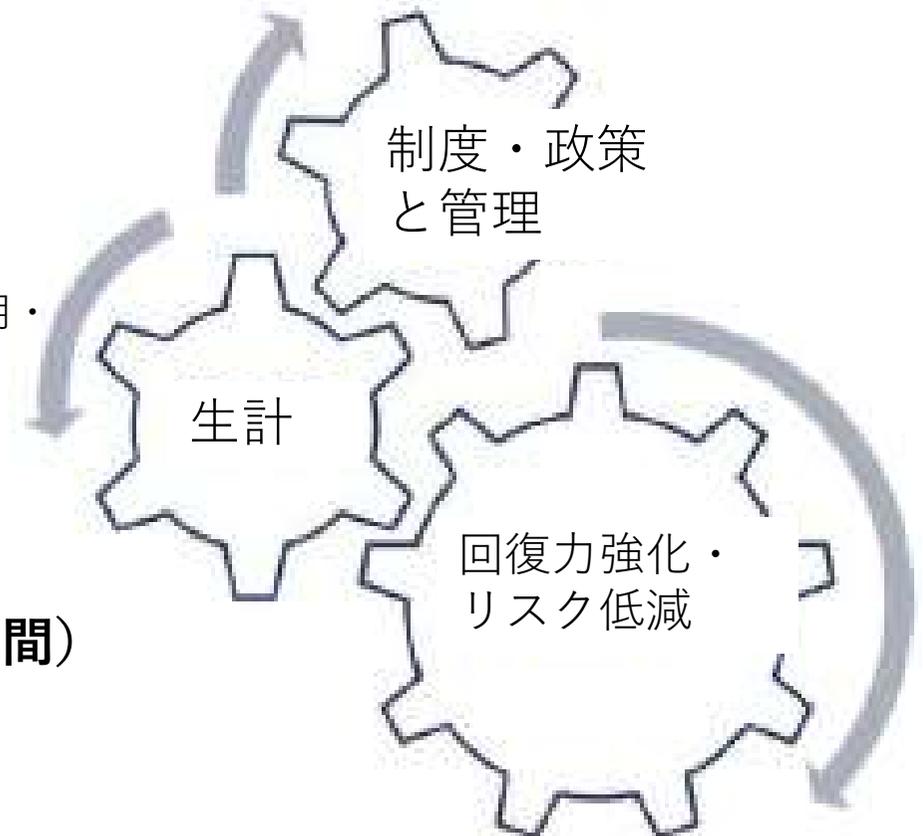
- 国や地域の適応計画、経営悪化への支援構築
- 資源評価・漁業管理のように、研究と政策を統合するための機関の能力開発や制度設計
- 国際的な協力関係の強化
- 沿岸域の統合的管理、MPAの設定、等

生計、経営など経済システム関連（民間）

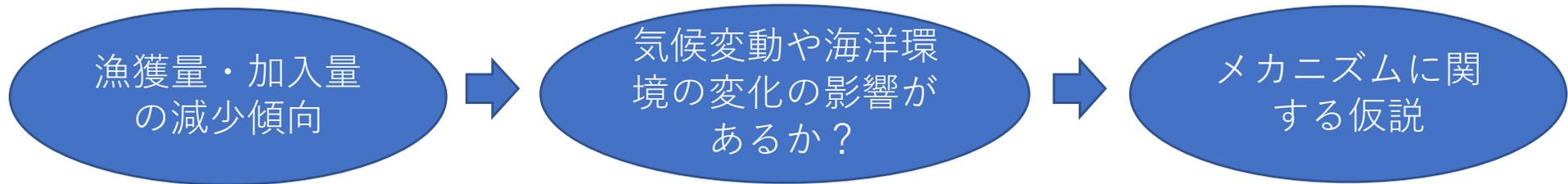
- 漁期やその年変動に応じた養殖や漁業の切り替え等
- 漁業・養魚活動の多角化、漁具・養殖設備の多様化、利用・加工技術や貯蔵技術の改善
- 養殖への投資
- エコラベリング、高付加価値化、
- 生計の多様化、等

レジリエンス強化とリスクへの備え（行政・民間）

- モニタリング、傾向の監視、早期警告
- リスク保険、貯蓄、信用、社会的保護
- EDR整備や防潮堤の管理など高潮・洪水被害の予防策
- 災害対応のトレーニングやマニュアル作成



漁業分野の適応の考え方



- ・ 分布の変化？
- ・ 加入の悪化？
- ・ 両方？

- ・ 気候や海況変化との対応関係は？
- ・ 適水温範囲との比較？
- ・ 考えられるその他の要因？

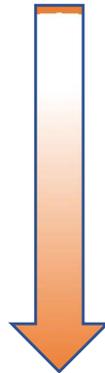
メカニズムに関する仮説

研究分野では、 . ステークホルダーに現在の資源状況がどのくらい続くか、今後どうなるかを可能な限り科学的に示し、対話を続けてステークホルダーたちによる適応オプションの選択に寄与

一時的

頻発

長期化、悪化



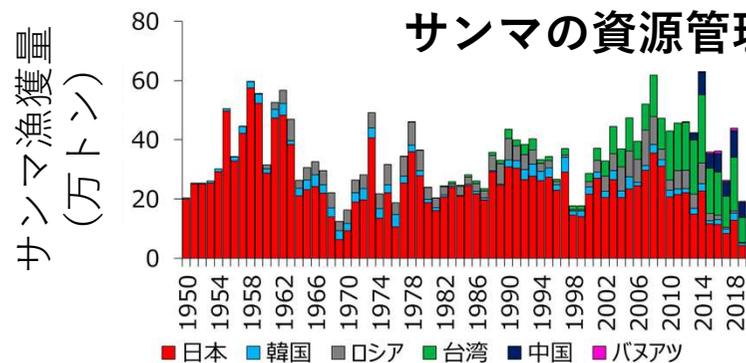
- ・ 人為的に改善しうる要因に着目し、その影響を低減（漁獲量の管理、環境保全など）
- ・ 技術開発で悪影響を低減
- ・ 増えた種類の活用
- ・ 地域の持続性を考え、漁業種類、養殖等其他の水産業、他の産業の導入

@選択肢を増やす方向

人為的な改善が可能な要素に着目し、その悪影響を低減

例 漁獲の影響；資源評価→TAC等による管理で漁獲量を制限

水温などの環境要因を操作できないが、漁獲量や漁獲努力量を制御することは可能。持続的な漁業のため、資源評価並びにその高精度化と資源管理が重要



資源評価 (NPFC科学委員会)

- ・資源は過剰に漁獲されている状態
- ・漁獲の強さも過剰
- ・2020年は、資源が依然として記録的低水準にある可能性が高い



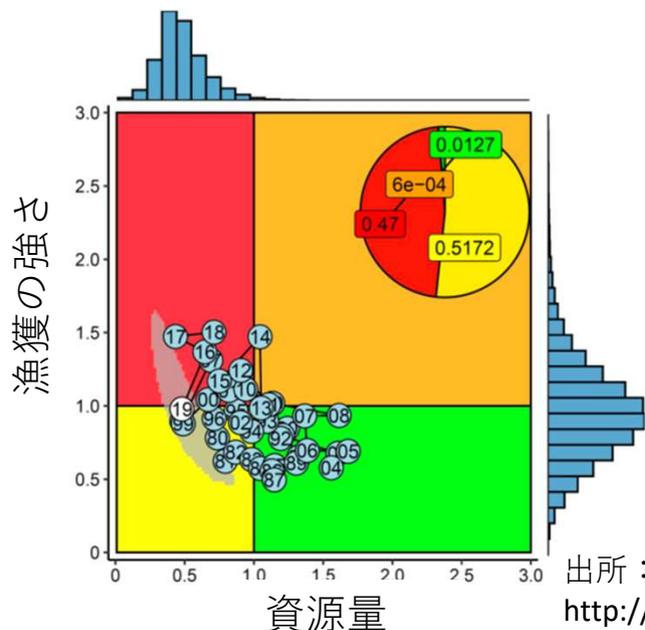
科学勧告

資源状態や2020年のCPUEを考慮して、サンマ資源の持続性を確保するために、さらなる管理措置を検討すべき。



第6回NPFC合意 (令和3年2月23～25日)

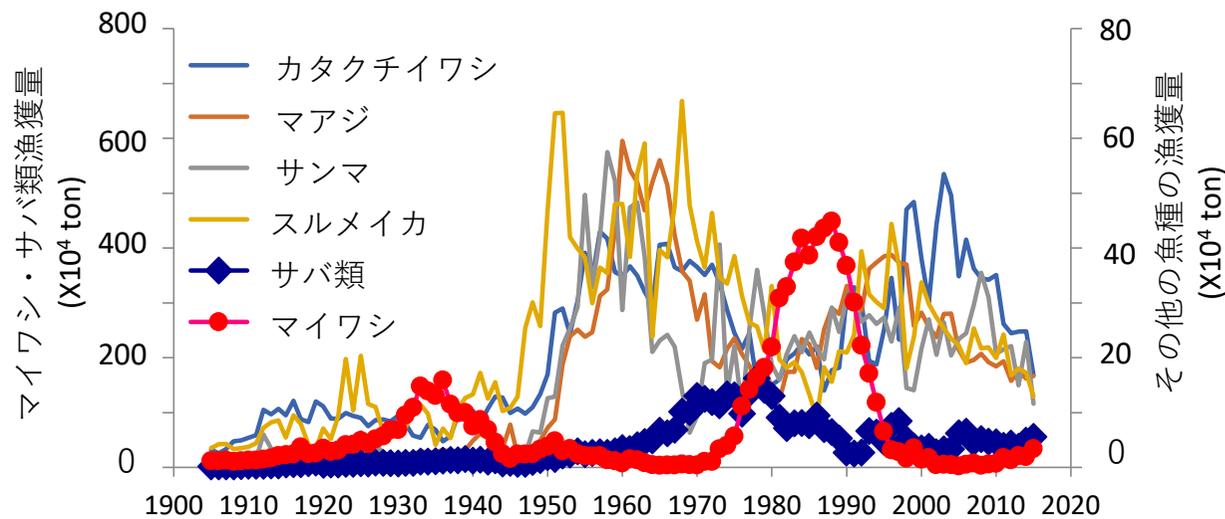
現状の漁獲数量規制の40%削減措置に合意



出所：NPFC 第1回サンマ科学委員会特別会合(2021年1月)レポート(農林水産省)
http://kokushi.fra.go.jp/R02/R02_80_SAP.pdf

増えた種類の活用（活用に寄与する技術開発も含む）

例 近年増えているマイワシの活用



多獲性浮魚類の漁獲量の変動. Yatsu et al. (2005)改変

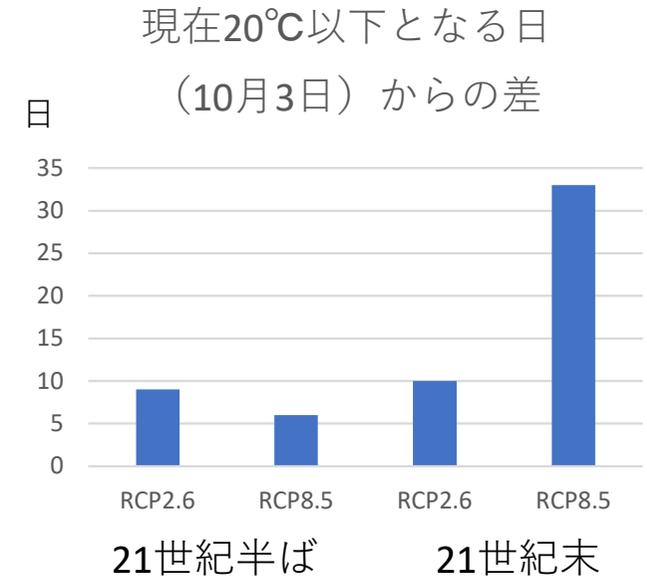
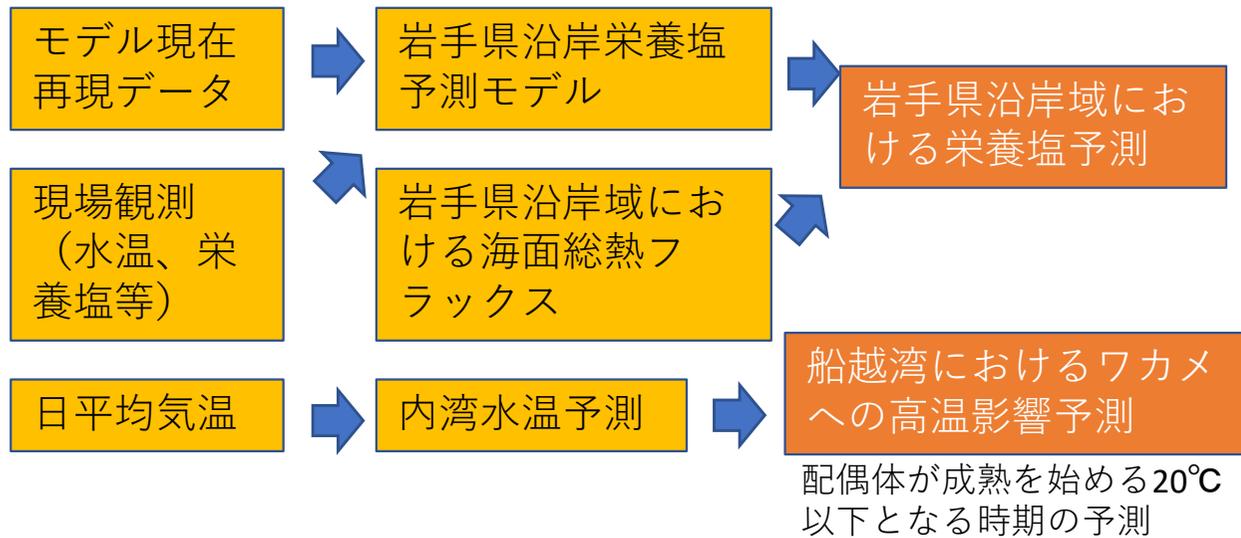
課題；

- 水揚げ場所の選択や高鮮度での流通を可能とする漁船で適用可能な冷蔵技術
- 1隻で複数の漁業種類を行える多目的船舶の導入（導入に必要な制度やステークホルダーの理解の醸成）
- いつまで、どこまで増えるのかを見極めるのに必要な予測技術・モニタリング

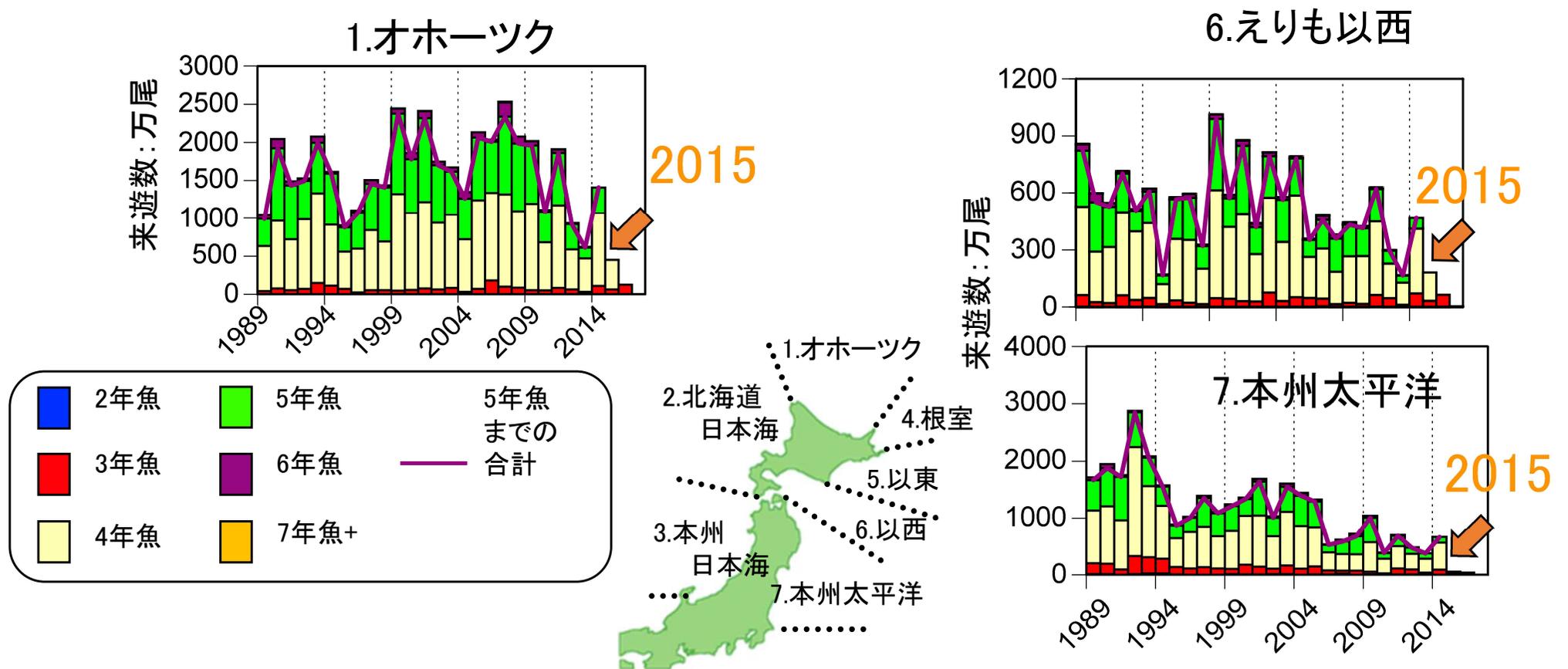
技術開発で悪影響を低減

- 例 i 養殖対象種の育種；のり、わかめ・・・
- 例 ii 海況予測モデルを活用した適期採苗、孵化放流、人工種苗の活用など

例 東北内湾における高水温並びに栄養塩の変化による影響を把握し ワカメの適期採苗を実施



* 短中期的には水温や栄養塩予測による効率的な適期採苗を実施。中長期的には、従来の種苗より早い時期から同様の収量を得ることができる陸上施設を用いた大型種苗の生産を組み合わせ、最適化して全体の収量を向上させる。



地域別の年級別来遊数 (1989～2017)

不漁問題に関する検討会 とりまとめ (農林水産省) を改変 https://www.jfa.maff.go.jp/j/study/attach/pdf/furyou_kenntokai-19.pdf

- ◆ 2000年代半ば以降の年級群でサケの来遊数 (河川漁獲 + 沿岸漁獲) が減少傾向。特に2010年台半ば以降の年級群で東北や北海道太平洋岸のサケの不漁が深刻化。
- ◆ 孵化放流技術の高度化で回帰率の増加を目指すが、定置網の漁獲が増加したブリやサバの活用と併せて、サクラマス、ギンザケ、トラウトサーモン養殖が導入

今後：社会経済シナリオを取り込んだ予測に基づいた適応策

漁業生産は、水域の資源の生産だけでなく、社会的経済的な状況にも影響
これらを考慮して現実的、効果的な適応策を考える必要がある

環境省環境研究総合推進費 戦略的研究開発

S18 気候変動影響予測・適応評価の総合的研究

水産業を対象とした気候変動影響予測と適応策の評価

R3年度；

- 社会経済シナリオを日本の水産分野にも拡張
- 気候変動予測と共通シナリオとして提供される各産地における人口をベースに導いた潜在的努力量を取り込んだ水産資源の生産量予測のためのフレームを構築

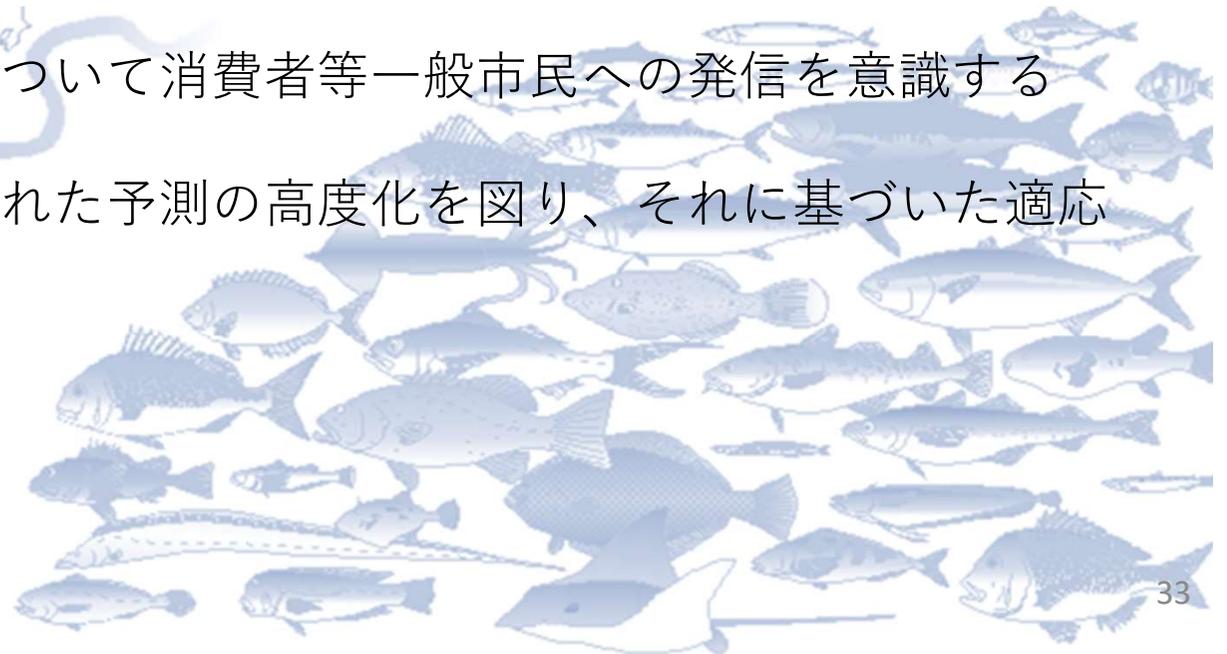


・ SSP1とSSP5における漁業の技術革新の程度、水産物の消費活動の特徴、漁業管理等想定される国の施策等を組み込んで社会経済シナリオを日本の水産版に拡張

図-1 世界 SSP1～5 の位置づけ

まとめ

- すでに気候変動が海面漁業に及ぼす影響が顕在化
- 気候変動が海洋環境に及ぼす影響が多様でかつ複合的な様相を示し、過去の状況から予測するのは困難 → レジリエンス強化とリスクへの備えのため、モニタリングがますます重要
- 適応策は複数の対象、漁法、業態などが選べる方向性を検討
- 可能な限り科学的なデータに基づき、生産者をはじめ水産業関係者が適応策を選択できるように状況を整える
- 水産分野の「持続可能性」について消費者等一般市民への発信を意識する
- 今後は社会経済シナリオも入れた予測の高度化を図り、それに基づいた適応策を検討することが重要



©国立研究開発法人 国立環境研究所 気候変動適応センター
令和3年度気候変動適応研修（中級コース）
2022年2月10日（木）