

漁業の長期シナリオの理解： モデリングとアドバイスの改善に向けた取り組み



2021年7月21日
気候変動と漁業日米ワークショップ

カースティン ホルスマン, NOAA AFSC
kirstin.holsman@noaa.gov

Anne Hollowed,
NOAA

Diana Stram,
NPFMC

Alan Haynie, NOAA

Jonathan Reum,
UW

Kerim Aydin, NOAA

Al Hermann, UW

André Punt, UW

+ ACLIM Team

ACLIM チーム



気候情報に基づく生態系
管理により気候変動に
対応できる回復力を
構築する

Lead PIs: Anne Hollowed, Kirstin
Holsman, Alan Haynie, Jon Reum,
Andre Punt, Kerim Aydin, Al
Hermann

Co-Pis & Collaborators

Wei Cheng
Jim Ianelli
Kelly Kearney
Elizabeth McHuron
Daren Pilcher
Jeremy Sterling
Ingrid Spies
Paul Spencer
William Stockhausen
Cody Szuwalski
Sarah Wise
Ellen Yasumiishi

Andy Whitehouse

James Thorson

Peggy Sullivan

Amanda Faig

Steve Kasperski

Martin Dorn

Diana Evans

Ed Farely

Enrique Curchitser

Elliott Hazen

David Kimmel

Mike Jacox

Carol Ladd

Stan Kotwicki

Ivonne Ortiz

Kalei Shotwell

Rolf Ream

Elizabeth Siddon

Phyllis Stabeno

Charlie Stock

Chris Rooper

Jordan Watson

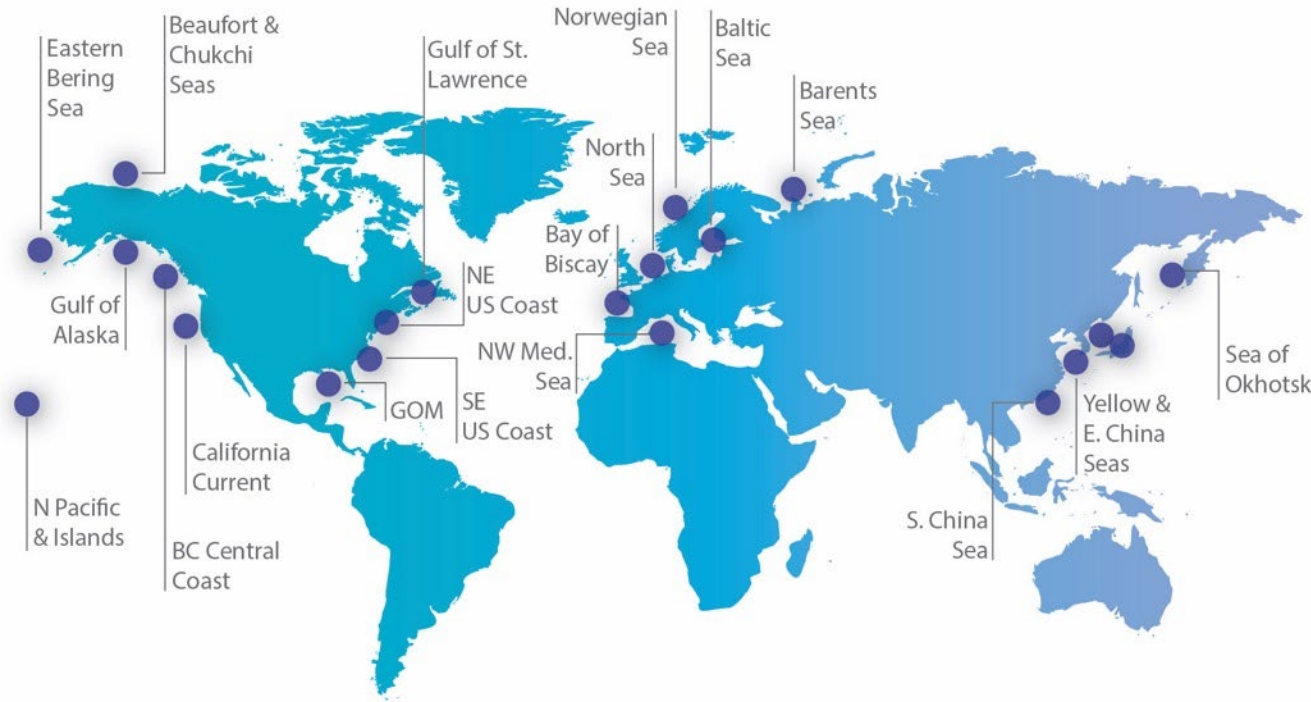
Diana Stram

Lauren Rogers

Ben Laurel

www.fisheries.noaa.gov/alaska/ecosystems/alaska-climate-integrated-modeling-project

SICCME/S-CCME Regional Modeling Nodes



ICES-PICES Strategic Initiative on
Climate Change Effects on Marine Ecosystems

ICES/PICES気候変動による海洋生態系への影響に関する戦略的イニシアティブ (Strategic Initiative on Climate Change Impacts on Marine Ecosystems)

2011- 現在

Chairs:

Kirstin Holsman (USA, PICES)

Shan Xiujuan (People's Republic of China, PICES)

Christian Möllmann (Germany, ICES)

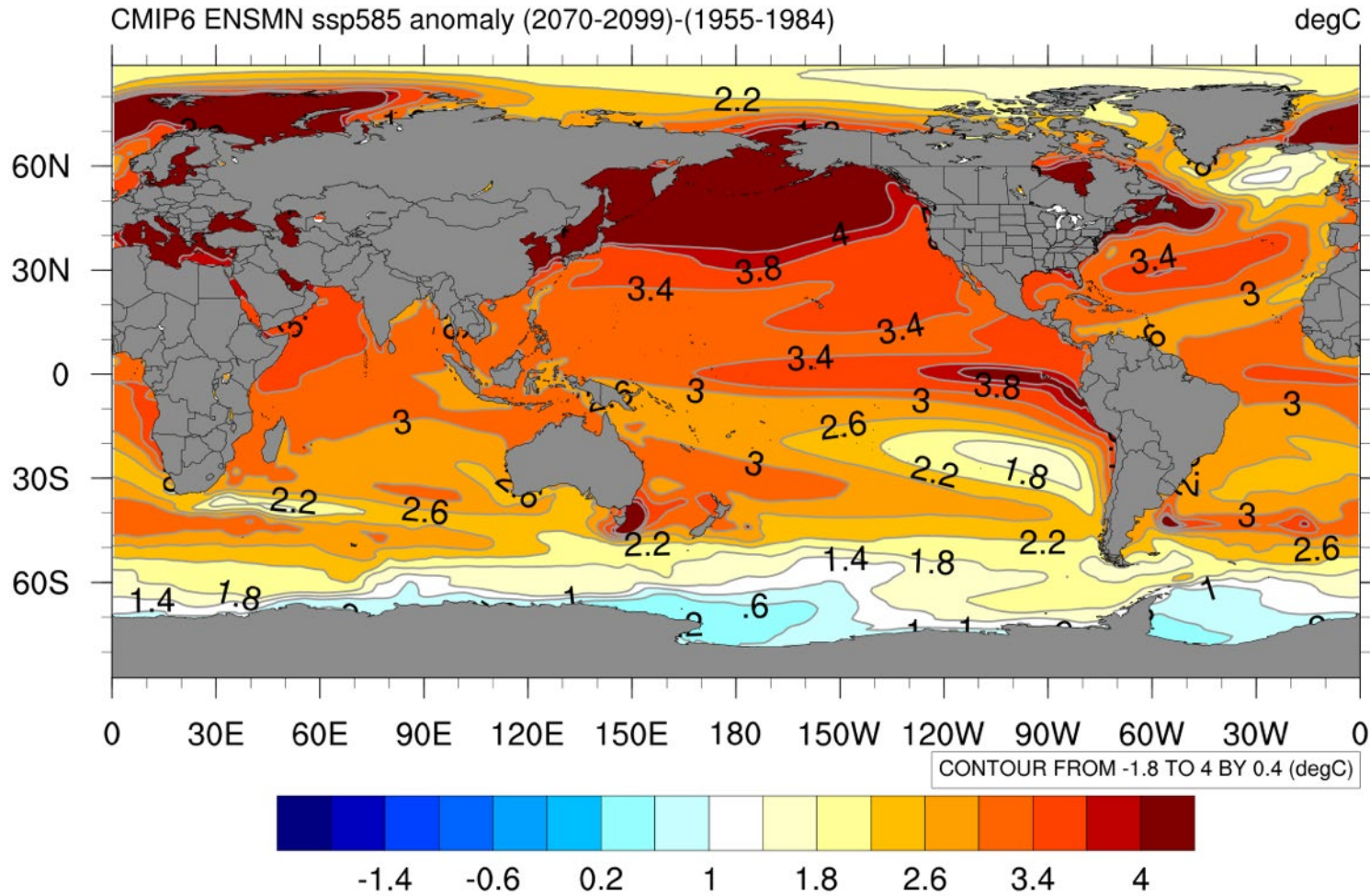
Mark Payne (Denmark, ICES)

PICES S-CCME: <https://meetings.pices.int/members/sections/S-CCME#products>

ICES SICCMME : <https://www.ices.dk/community/groups/Pages/SICCME.aspx>



CMIP6: 1955-1984年の気候変動による海面水温の異常値



<https://psl.noaa.gov/ipcc/cmip6/>



気候変動に強い適応策

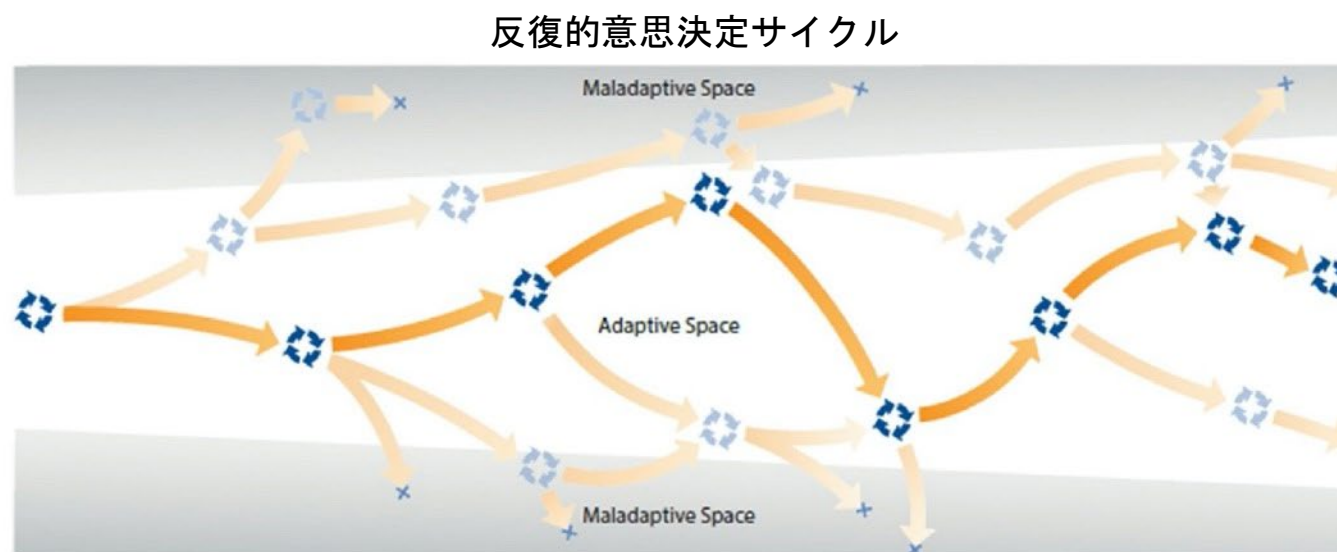


新規および既存ツールを試す

適応

現在の生活、健康、安心を維持し、将来の需要を満たすため段階的に適応させる

特に考慮すべきは周縁化であり、それを避け、公平な安心と多様な価値観を促進するためには、変革的な適応が不可欠となる。



再評価する
能力を高め、
変革を起こす
活動を可能にする

Fig. 1 from Wise et al. 2014. Reconceptualising adaptation to climate change as part of pathways of change and response. *Global Environmental Change* 28: 325–336

適応策評価の課題

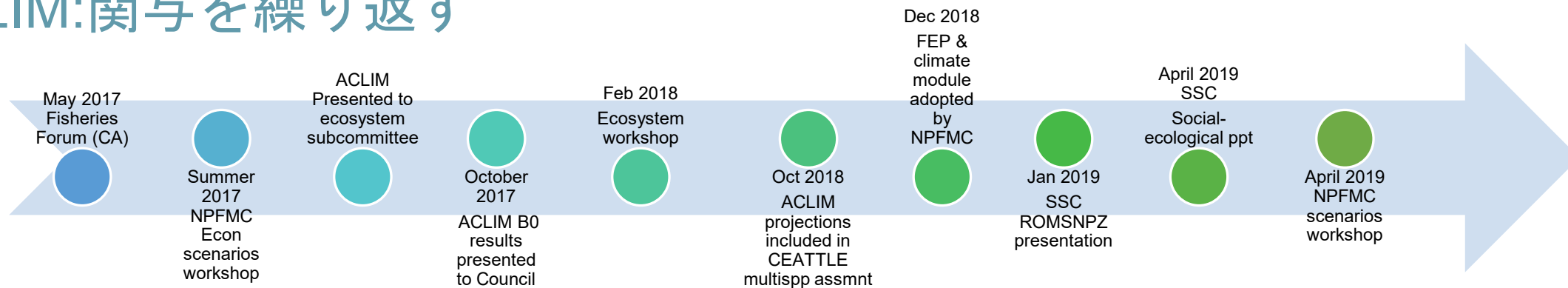


- ・ 適応策の長期時間軸
- ・ 気候変動に伴うベースラインの変化と不確実性
- ・ 結果の帰属要素を評価
- ・ さらなる気候変動リスクと反実例シナリオへの対応

「混合法、学習と参加に基づいた取り組みは、適応に関する結果において不確実性の懸念を軽減させる。」

Craft & Fisher 2018, Fisher 2015

ACLIM:関与を繰り返す



アラスカ気候統合モデリング・プロジェクト

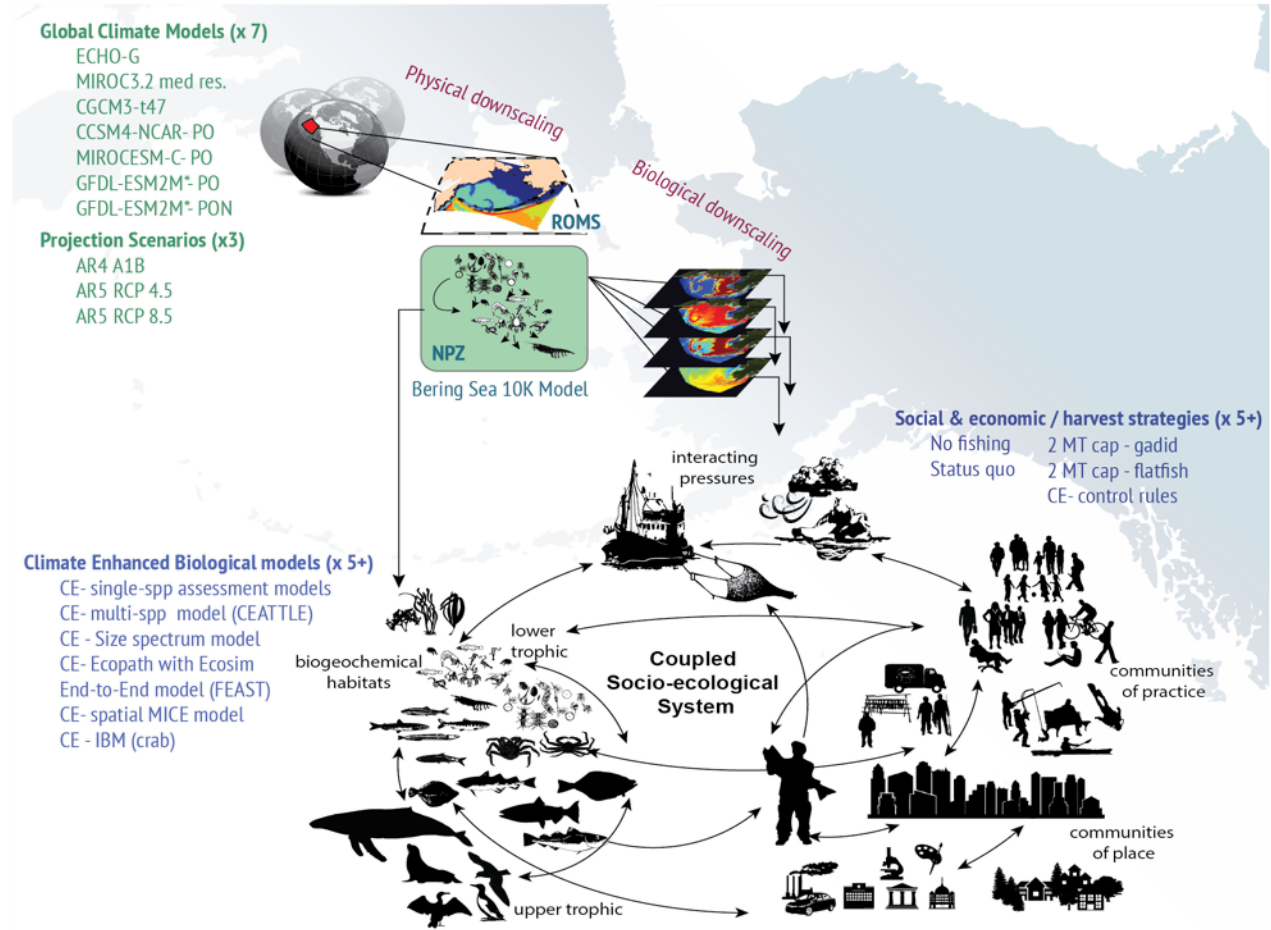


- 東南ベーリング海
- 資金調達 NMFS S&T (FATE+SAAM+NPCREP), IEA, RTAP, Economic and Human Dimensions Program, AFSC, OAR)
- 気候変動による漁業のハインドキャスト、予測、予想、管理戦略評価のための社会生態学的結合モデルの運用セット

www.fisheries.noaa.gov/alaska/ecosystems/alaska-climate-integrated-modeling-project



**NOAA
FISHERIES**

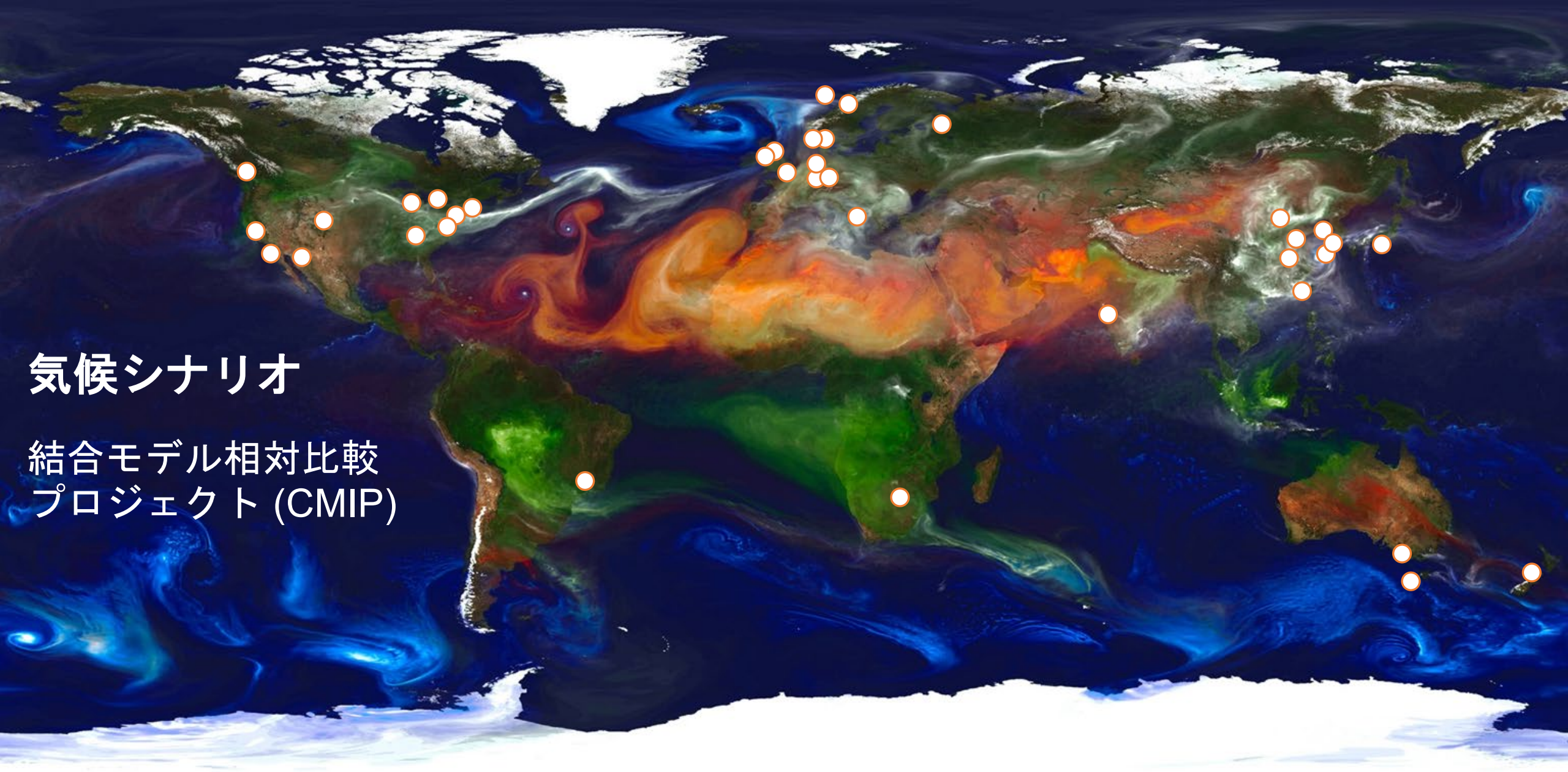


Hollowed et al. 2020. Frontiers in Mar. Sci. doi: 10.3389/fmars.2019.00775



気候シナリオ

結合モデル相対比較 プロジェクト (CMIP)

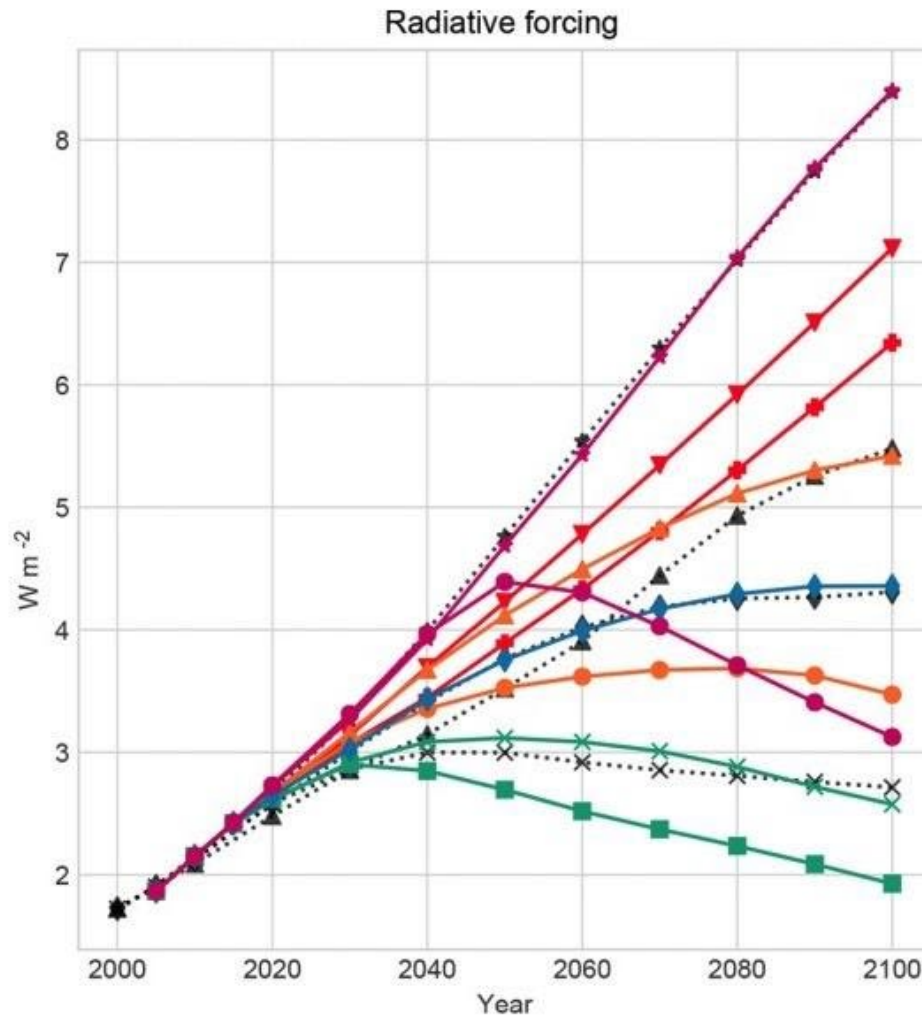


GEOS-5の10km分解能のシミュレーションにより作成された全球エアロゾルのまとめ。地表から舞い上がる塵（赤）、サイクロンの中で渦巻く海塩（青）、火事で立ち上る煙（緑）、火山や化石燃料の排出物から流れ出る硫酸塩粒子（白）。

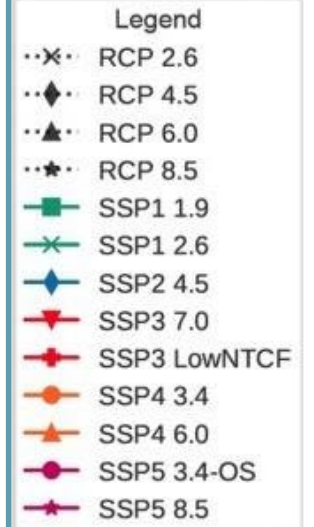
Image credit: William Putman, NASA/Goddard https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_2393.html



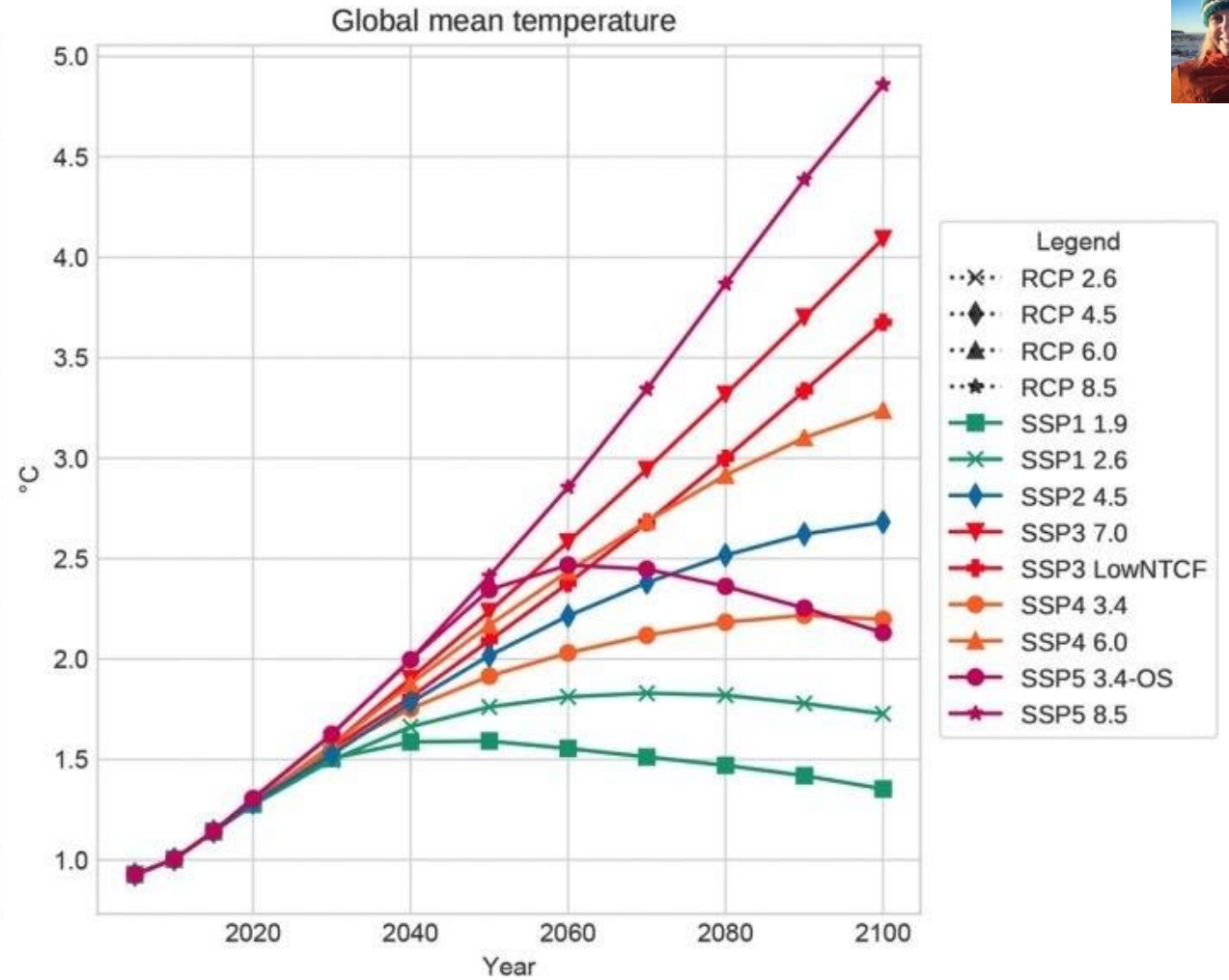
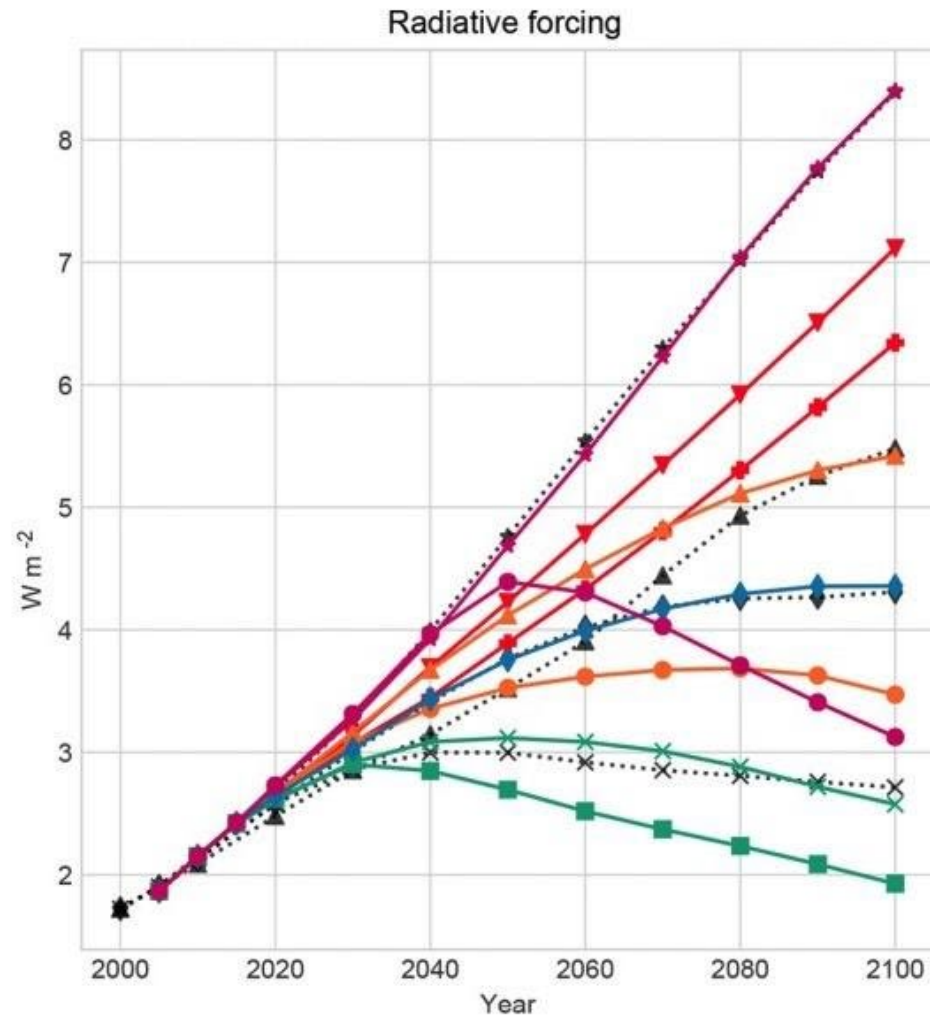
二酸化炭素排出シナリオ



「さまざまな変数に関して、未来がどのように変化するかもっともらしく記述したものであり、政策を規定するものではない（つまり、提案の中における個々のシナリオのいずれにも可能性や優先順位は付けられていない）」
van Vuuren et al. 2011

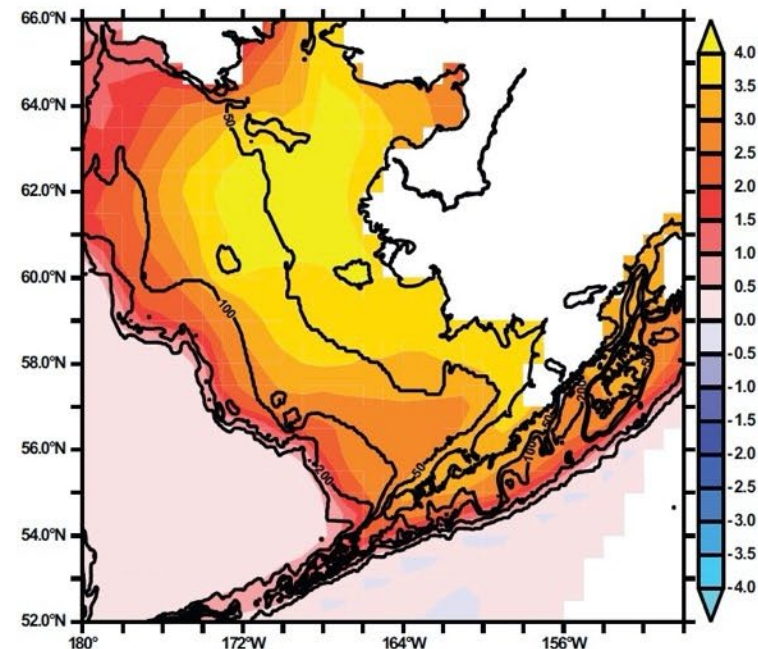
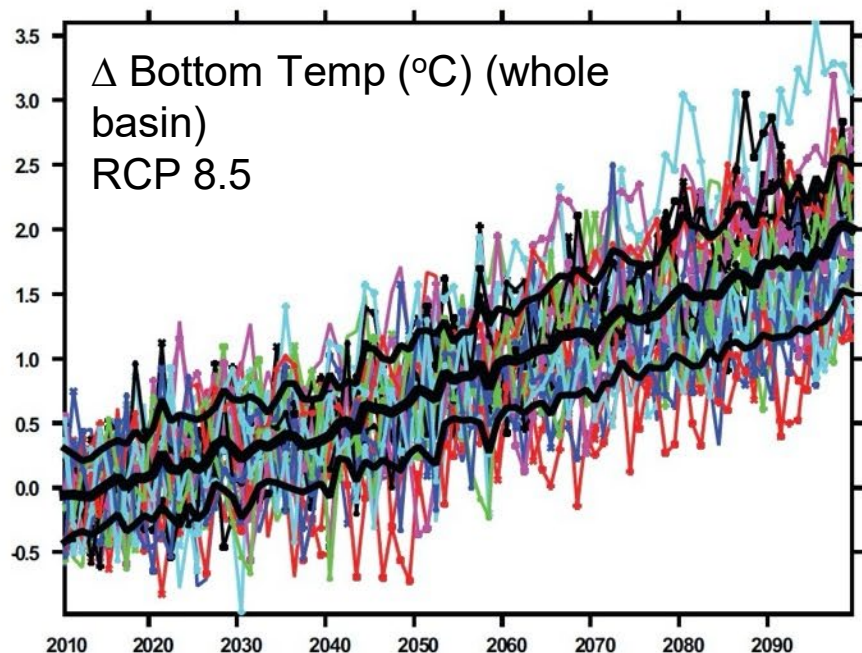


Gidden et al. (2019). Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geosci. Model Dev.*, 12, 1443–1475, 2019 <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1443-2019>



Gidden et al. (2019). Global emissions pathways under different socioeconomic scenarios for use in CMIP6: a dataset of harmonized emissions trajectories through the end of the century. *Geosci. Model Dev.*, 12, 1443–1475, 2019 <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1443-2019>

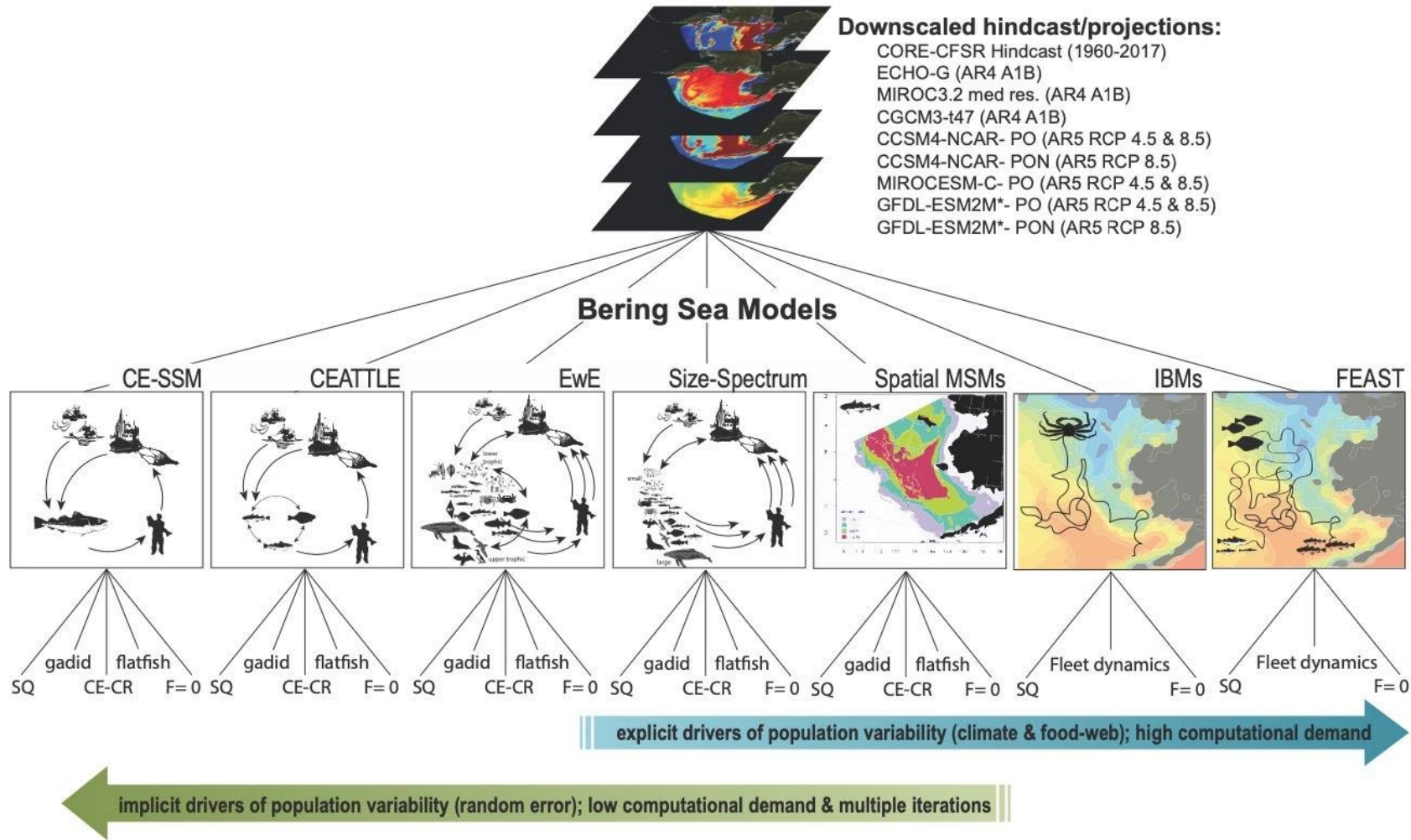
結果：ダウンスケールされたベーリング10K ROMSNPZ高解像度モデル (H16)



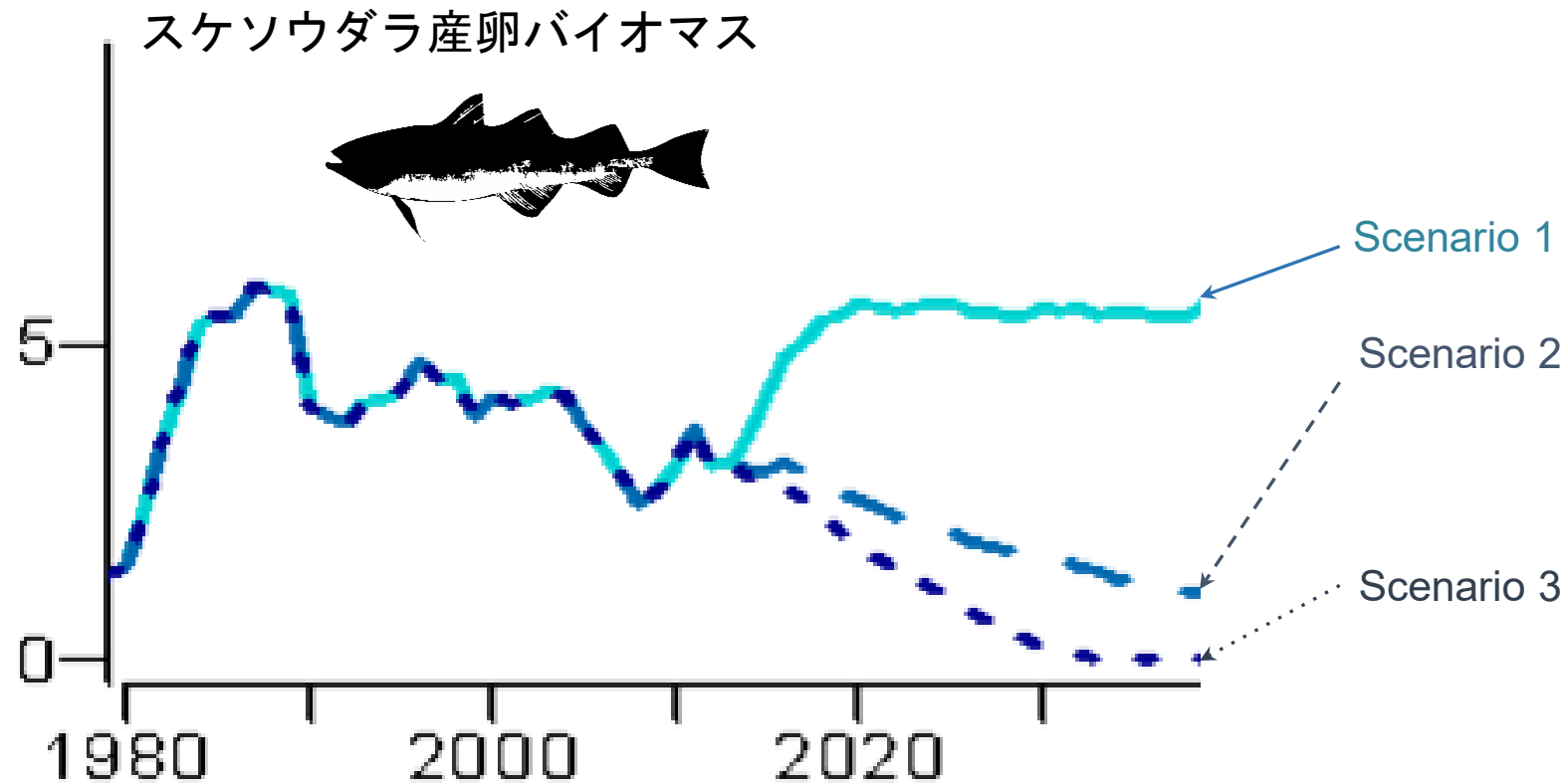
温暖化の進行(2090-2099)-(2010-2019)

Hermann, A. J., G.A. Gibson, W. Cheng, I. Ortiz¹, K. Aydin, M. Wang, A. B. Hollowed, and K. K. Holsman. (2019)
Projected biophysical conditions of the Bering Sea to 2100 under multiple emission scenarios. ICES. doi: 10.1093/ices/fsz043

アラスカ気候総合モデル・プロジェクト



リスクと不確実性の定量化



Ianelli, J KK Holsman, AE Punt, K Aydin (2016). Multi-model inference for incorporating trophic and climate uncertainty into stock assessment estimates of fishery biological reference points. Deep Sea Res II. 134: 379-389 DOI: 10.1016/j.dsr2.2015.04.002

結果: Holsman et al. 2020



ARTICLE

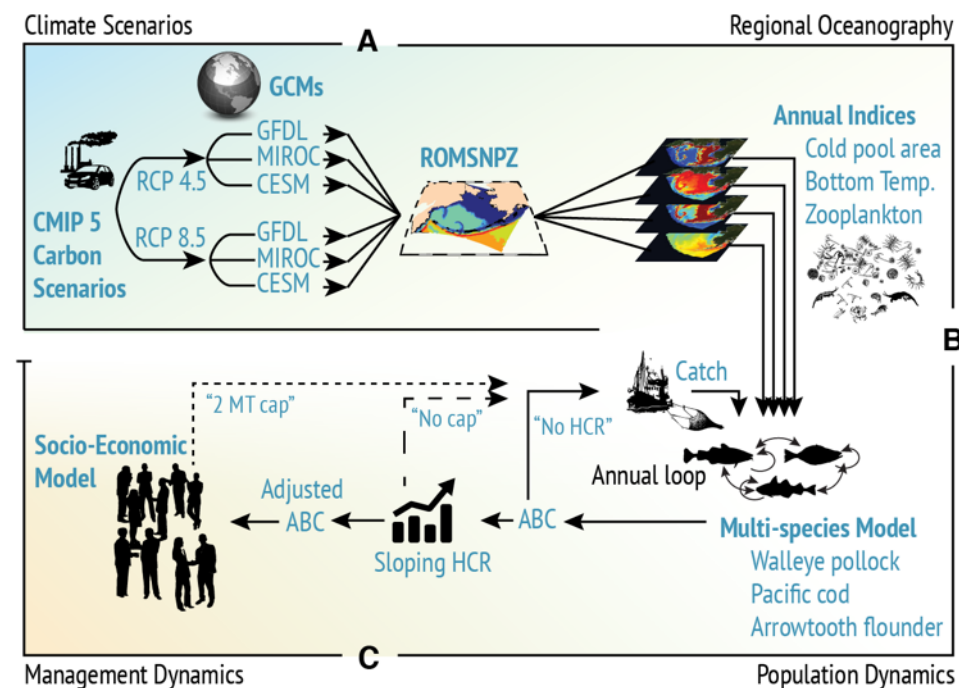
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-18300-3>

OPEN

生態系に基づいた漁業管理が 気候変動による崩壊を防ぐ

K. K. Holsman^{1,2}, A. C. Haynie¹, A. B. Hollowed^{1,2}, J. C. P. Reum^{1,2,3}, K. Aydin^{1,2}, A. J. Hermann^{4,5}, W. Cheng^{4,5}, A. Faig², J. N. Ianelli^{1,2}, K. A. Kearney^{1,4} & A. E. Punt²

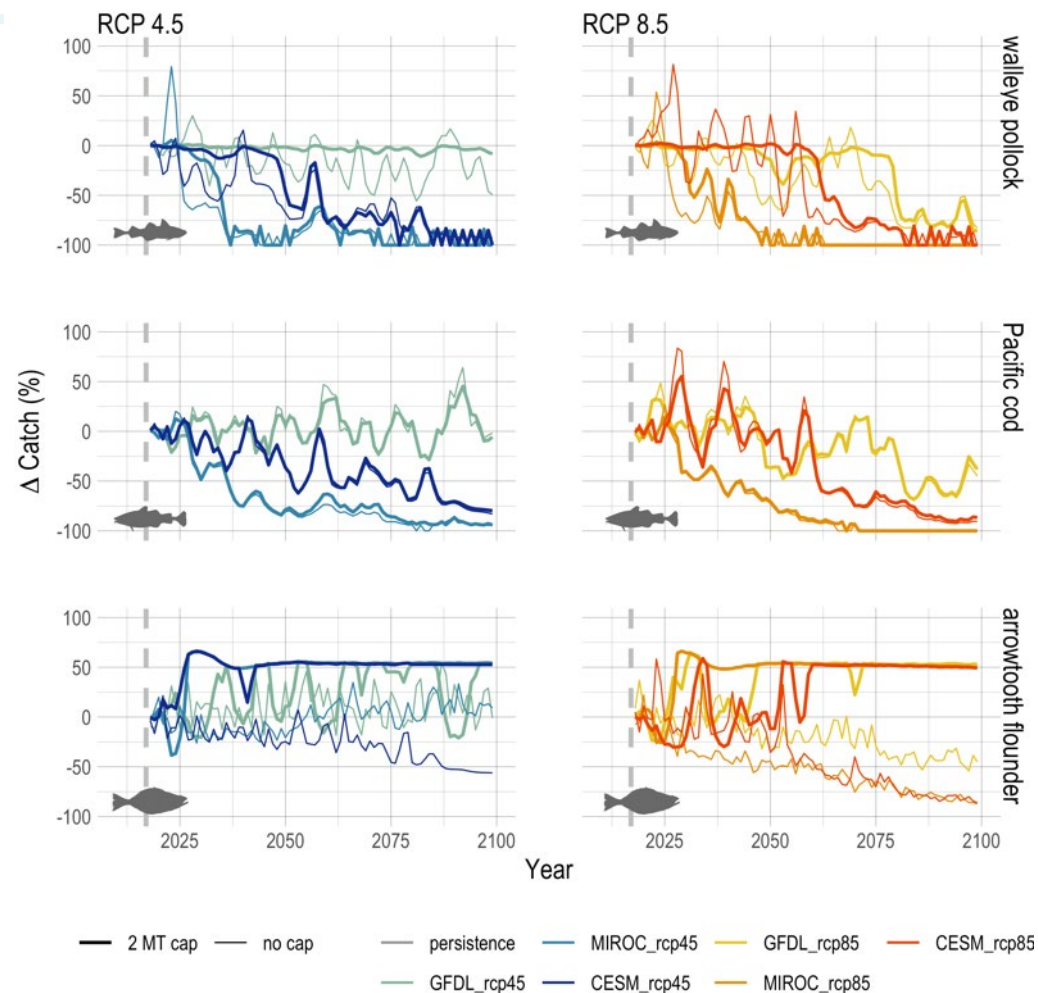
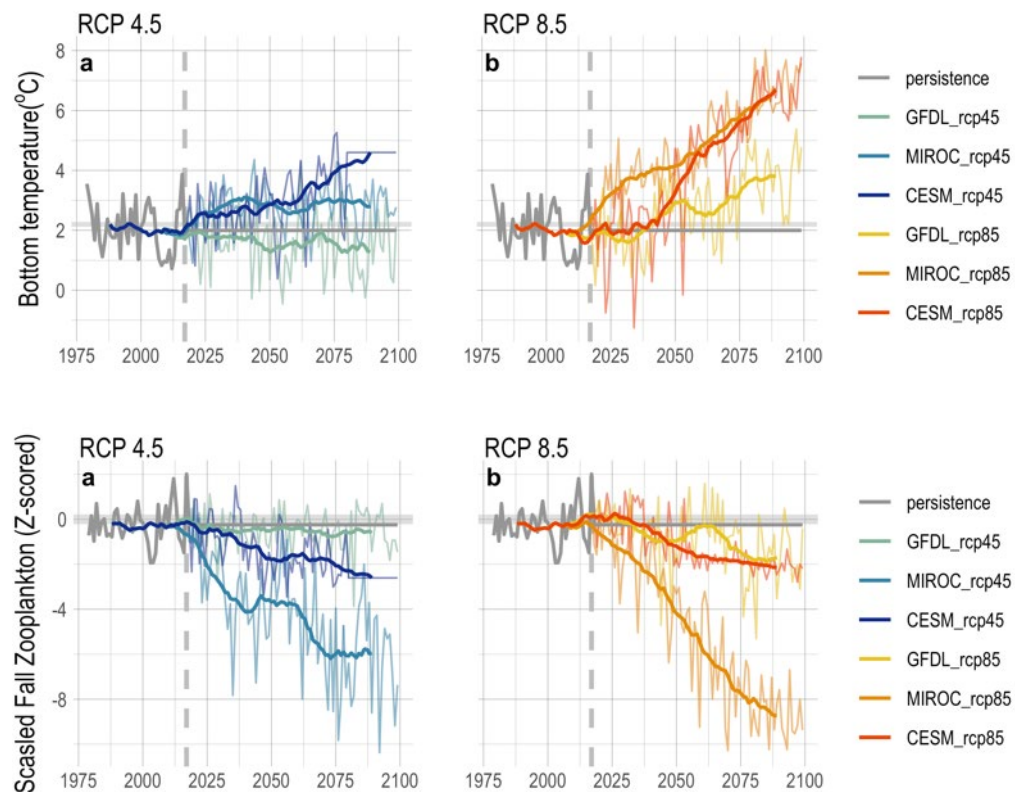
Climate change is impacting fisheries worldwide with uncertain outcomes for food and nutritional security. Using management strategy evaluations for key US fisheries in the eastern Bering Sea we find that Ecosystem Based Fisheries Management (EBFM) measures forestall future declines under climate change over non-EBFM approaches. Yet, benefits are species-specific and decrease markedly after 2050. Under high-baseline carbon emission scenarios (RCP 8.5), end-of-century (2075–2100) pollock and Pacific cod fisheries collapse in >70% and >35% of all simulations, respectively. Our analysis suggests that 2.1–2.3 °C (modeled summer bottom temperature) is a tipping point of rapid decline in gadid biomass and catch. Multiyear stanzas above 2.1 °C become commonplace in projections from ~2030 onward, with higher agreement under RCP 8.5 than simulations with moderate carbon mitigation (i.e., RCP 4.5). We find that EBFM ameliorates climate change impacts on fisheries in the near-term, but long-term EBFM benefits are limited by the magnitude of anticipated change.



EBFM 対 非EBFM cap



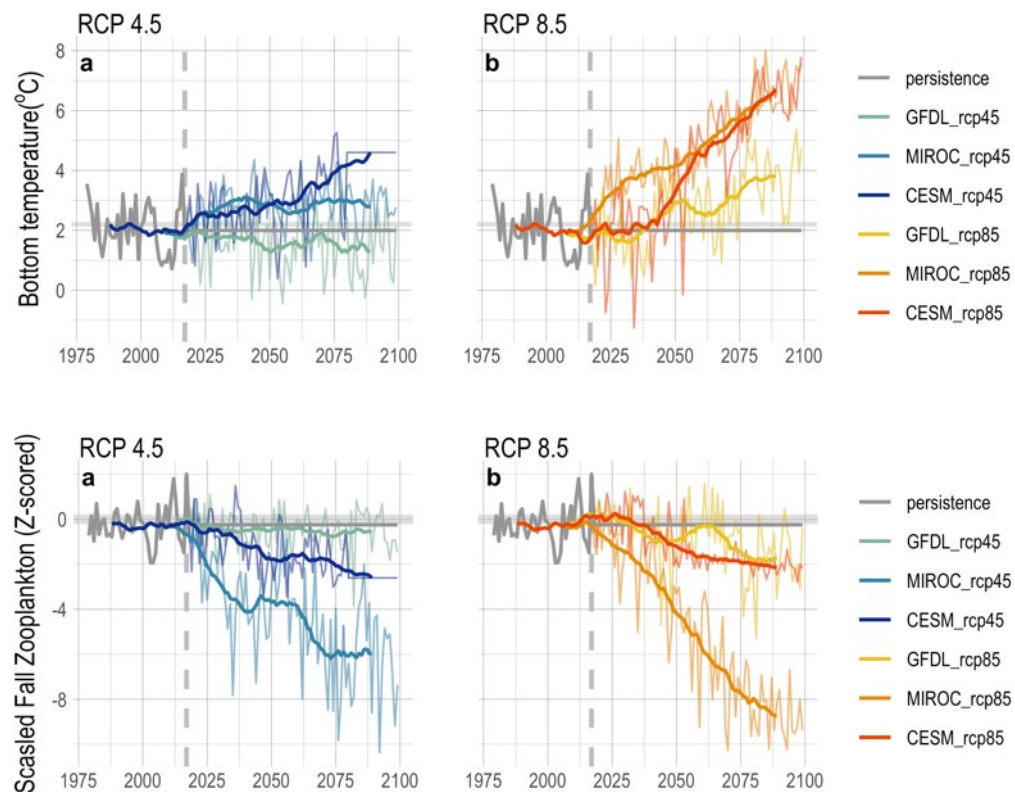
漁獲量の変化



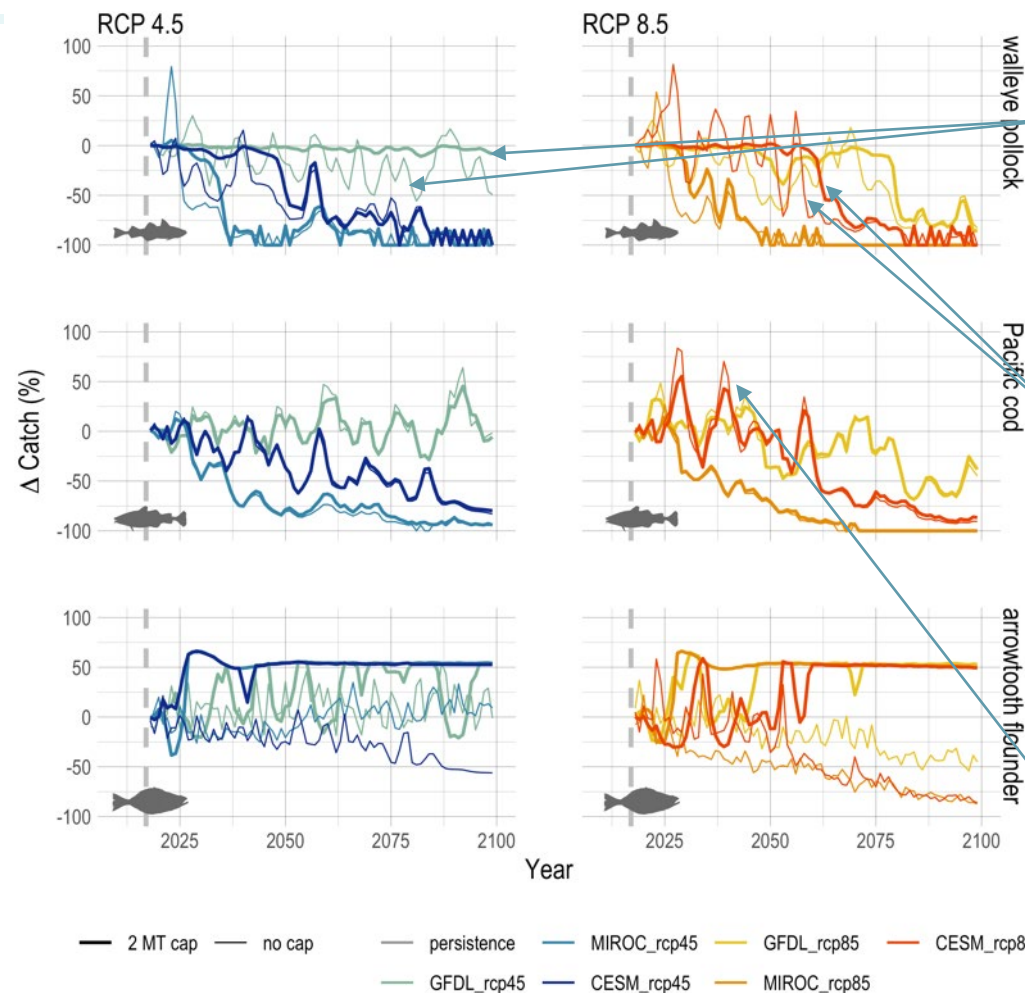
Holsman, K.K., Haynie, A.C., Hollowed, A.B. et al. Ecosystem-based fisheries management forestalls climate-driven collapse. Nat Commun 11, 4579 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18300-3>



EBFM 対 非EBFM cap



漁獲量の変化



EBFM
安定した
漁獲量

EBFM
減少の予兆
(~10yr)

EBFM
スケトウ
ダラの価
格にはほ
んど影
響は無い
(\$)



Holsman, K.K., Haynie, A.C., Hollowed, A.B. et al. Ecosystem-based fisheries management forestalls climate-driven collapse. Nat Commun 11, 4579 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18300-3>



食物網モデルに基づくサイズ・スペクトラム(Reum et al. 2020)



多魚種のサイズスペクトラムモデルを用いた東ベーリング海食物網に対する将来の気候変動の影響が全体に与える効果の予測

Jonathan C. P. Reum^{1,2,3*}, Julia L. Blanchard², Kirstin K. Holsman¹, Kerim Aydin¹, Anne B. Hollowed¹, Albert J. Hermann^{4,5}, Wei Cheng^{4,5}, Amanda Faig^{1,3}, Alan C. Haynie¹ and André E. Punt³

¹ Alaska Fisheries Science Center, National Marine Fisheries Service, NOAA, Seattle, WA, United States, ² Institute for Marine and Antarctic Studies and Centre for Marine Socioecology, University of Tasmania, Hobart, TAS, Australia, ³ School of Aquatic and Fishery Sciences, University of Washington, Seattle, WA, United States, ⁴ Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean, University of Washington, Seattle, WA, United States, ⁵ Pacific Marine Environmental Laboratory, Office of Oceanic and Atmospheric Research, NOAA, Seattle, WA, United States

OPEN ACCESS

Edited by:

Erik Olsen,
Norwegian Institute of Marine
Research (IMR), Norway

Reviewed by:

Martina Hanneliese Stiasny,
Norwegian Institute of Marine
Research (IMR), Norway
Morgane Travers-Trolet,
Institut Français de Recherche pour
l'Exploitation de la Mer (IFREMER),
France

*Correspondence:

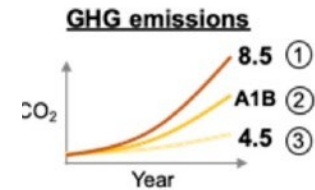
Jonathan C. P. Reum
Jonathan.Reum@noaa.gov

Specialty section:

This article was submitted to

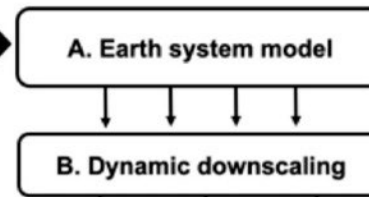
Characterization of uncertainty (variance) in ecosystem projections under climate change is still rare despite its importance for informing decision-making and prioritizing research. We developed an ensemble modeling framework to evaluate the relative importance of different uncertainty sources for food web projections of the eastern Bering Sea (EBS). Specifically, dynamically downscaled projections from Earth System Models (ESM) under different greenhouse gas emission scenarios (GHG) were used to force a multispecies size spectrum model (MSSM) of the EBS food web. In addition to ESM and GHG uncertainty, we incorporated uncertainty from different plausible fisheries management scenarios reflecting shifts in the total allowable catch of flatfish and gadids and different assumptions regarding temperature-dependencies on biological rates in the MSSM. Relative to historical averages (1994–2014), end-of-century (2080–2100 average) ensemble projections of community spawner stock biomass, catches, and mean body size ($\pm$ standard deviation) decreased by 36% ($\pm$ 21%), 61% ($\pm$ 27%), and

Scenario uncertainty

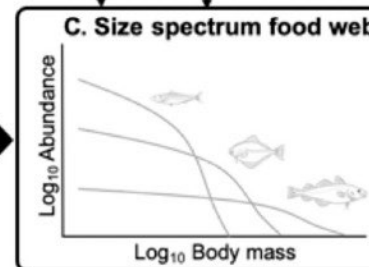
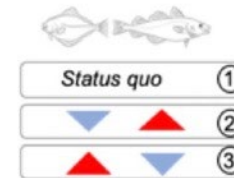


Structural uncertainty

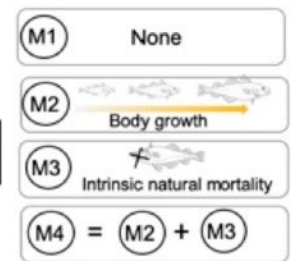
Earth System Models

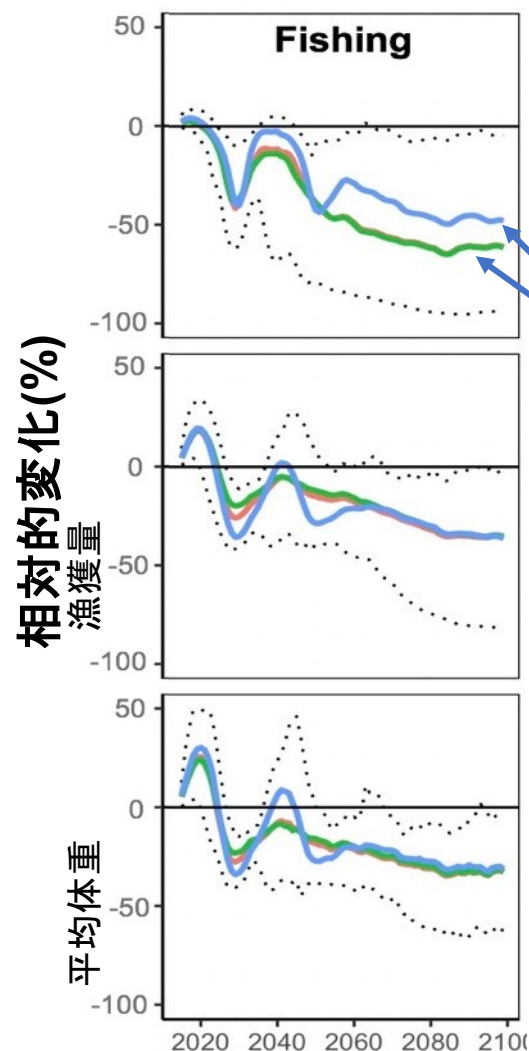


Fishery management: total allowable catch



Temperature effect





運営シナリオ

- Status quo
- More gadid
- More flatfish

- (1) TAC=最近の過去のパターン（「現状維持」）。
- (2) スケソウダラとパシフィック・タラのTAC $\leq$ 現状維持+10% (フラットフィッシュTACの減少の代償)
- (3) ヒラメのTAC $\leq$ 現状維持+10% (スケソウダラとパシフィック・タラのTAC減少の代償)

管理をわずかにフレキシブルにすることで、現状よりも漁獲量が10%程度増加する可能性がある

段階的な調整で適応範囲を（ある程度）広げることができる

Reum, J. C. P., J. L. Blanchard, K. K. Holsman, K. Aydin, A. B. Hollowed, A. J. Hermann, W. Cheng, A. Faig, A. C. Haynie, and A. E. Punt. 2020. Ensemble Projections of Future Climate Change Impacts on the Eastern Bering Sea Food Web Using a Multispecies Size Spectrum Model. *Frontiers in Marine Science* 7:1–17.

ダウンスケールの 必要性

生物学のおよび社会経済的な変化に
対応できるの複数のモデルが不可欠

地球気候モデルに基づく予測は、将来の変動を過小評価する可能性がある。GCM間のばらつきが大きいので、ダウンスケールするために複数のシナリオを選択する。

捕食を考慮することで、予測の方向性が増加（単一spモデル）から減少（複数spモデル）へと変化した。システムの転換点を理解するためには、管理者の反応と適応をモデル化する必要がある。気候の影響は非加法的であり、社会生態系のダイナミクスは影響を弱めたり増幅したりする可能性がある。構造的な不確実性を評価するためには、複数の統合モデルが必要である。

緩和 はリスクを下げる

生産性の変化は、魚やカニの大幅な減少を引き起こす可能性がある。スケソウダラとタラのシナリオのほとんどは、2100年までに「通常の事業活動（RCP8.5）」で墜落し、「炭素緩和（RCP4.5）」はより低リスクのシナリオである。

適応性のある漁業管理

管理によって漁獲量を変化させることで、気候変動の影響をある程度まで軽減することができる。EBFMは気候変動による衰退を防ぎ、適応するための重要な時間を提供することができる。



導入可能な アドバイス

北太平洋漁業管理評議会: 気候変動特別委員会

N. Pacific Fishery Management Counsel, Climate Change Task Force



特別委員会:

- Diana Stram co-Chair (NPFMC)
- Kirstin Holsman co-Chair (AFSC-Seattle)
- Lauren Divine (Aleut Community of Saint Paul Island)
- Scott Goodman (Natural Resources Consultants)
- Steve Martell (SeaState)
- Joe Krieger (NMFS-Regional Office)
- Brenden Raymond-Yakoubian (Sandhill.Culture.Craft)
- Mike LeVine (Ocean Conservancy)
- Jeremy Sterling (AFSC Marine Mammal Lab)
- Todd Loomis (Ocean Peace, Inc.)

<https://www.npfmc.org/climatechangetaskforce/>
Stram et al. 2021

D3 Draft CCTF Workplan
February 2021



Supporting climate-resilient fisheries through understanding climate change impacts and adaptation responses

December 2020

DRAFT Climate Change Task Force work plan
of the Bering Sea Fishery Ecosystem Plan

Diana Stram¹, Kirstin Holsman²

Brenden Raymond-Yakoubian³, Lauren Divine⁴, Mike LeVine⁵, Scott
Goodman⁶, Jeremy Sterling⁷, Joe Krieger⁸, Steve Martell⁹

¹ diana.stram@noaa.gov, North Pacific Fishery Management Council, Anchorage, AK, USA

² kirstin.holsman@noaa.gov, Alaska Fisheries Science Center, National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA, USA

³ Sandhill.Culture.Craft, Girdwood, AK, USA

⁴ Aleut Community of Saint Paul Island, St. Paul, AK, USA

⁵ Ocean Conservancy, Juneau, AK, USA

⁶ Natural Resources Consultants, Inc. Seattle, WA.

⁷ AFSC Marine Mammal Lab, Seattle, WA, USA

⁸ NMFS-Regional Office, Anchorage, AK, USA

⁹ SeaState, Seattle, WA, USA

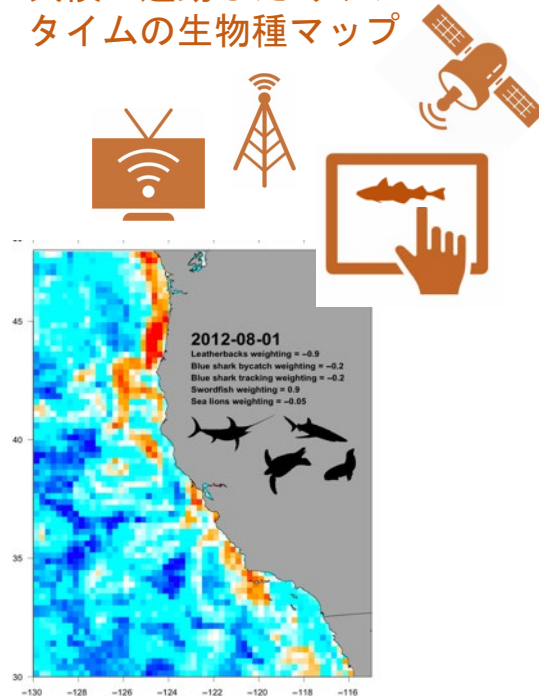
E.G., 漁業気候適応ツール



リアルタイムに適応

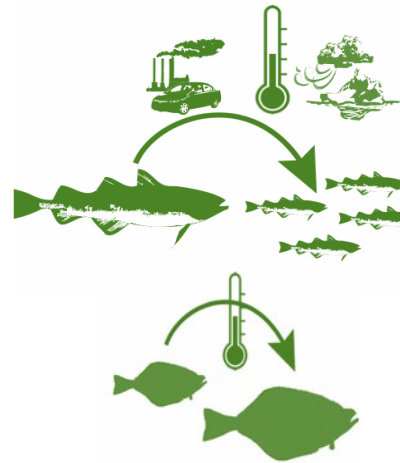
(段階的な適応)

気候に連動したリアルタイムの生物種マップ



Hazen et al. 2019
<https://advances.sciencemag.org/content/4/5/eaar3001>

気候変動に伴う資源評価モデル



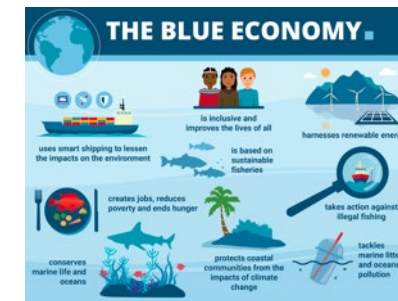
Holsman et al. 2020
<https://www.nature.com/articles/s41467-020-18300-3>
Hollowed et al. 2020 (ACLIM)

全体的計画で影響を最低限に抑え



(変革的な適応)

温暖化対策
長期戦略



www.blueeconomyconference.go.ke

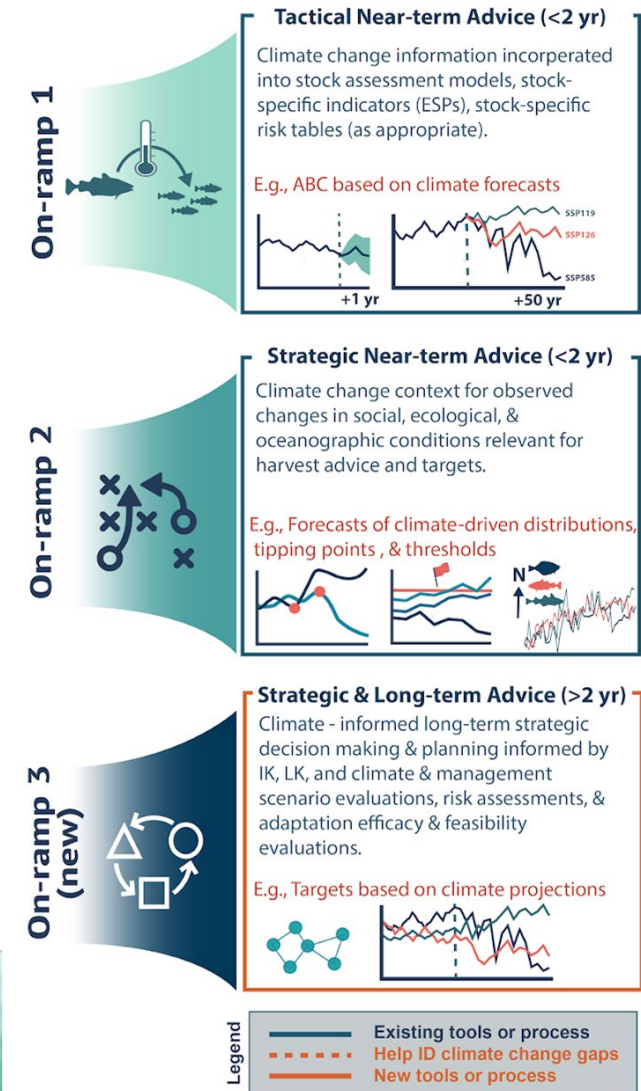
Santos et al. 2020.
<https://www.nature.com/articles/s41893-020-0513-x>

北太平洋漁業管理評議会: 気候変動特別委員会 N. Pacific Fishery Management Counsel, Climate Change Task Force



漁業管理の 架け橋となる気候情報

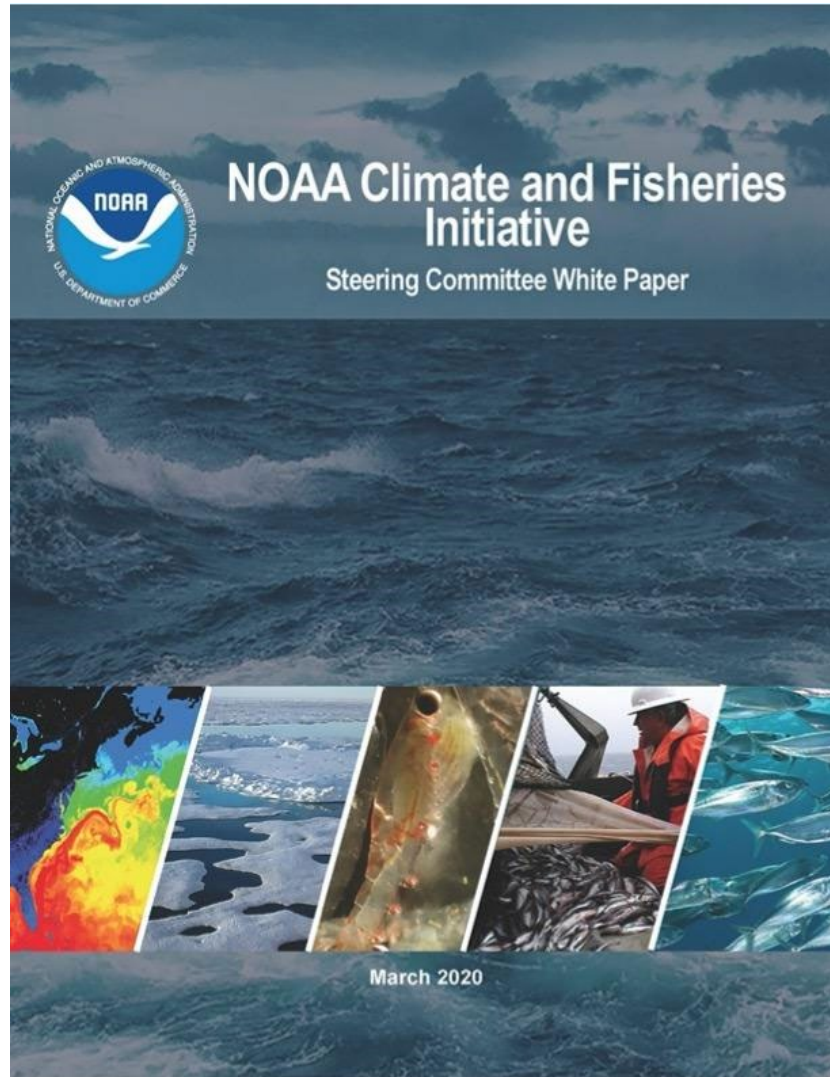
- 完璧な解決策を見つける必要はないが、その代わり、結果の範囲とそれに伴う信頼性を説明する。
- 情報を共有するために、気候に関するアドバイスの「橋渡し」を特定する
- 既存及び新規の意思決定支援ツールを特定する
- 経営者や政策立案者は、「気候に関する情報」に基づいた意思決定を行うことが可能になる



[https://www.npfmc.org/climatechangetaskforce/Stram et al. 2021](https://www.npfmc.org/climatechangetaskforce/Stram%20et%20al.%202021)

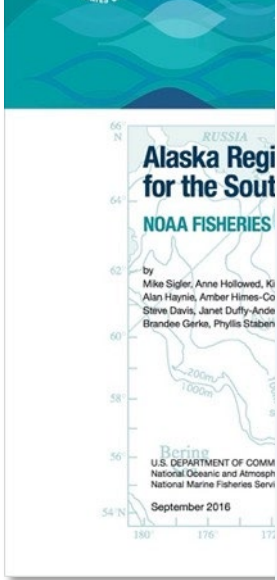


気候と漁業のイニシアチブ Climate Fishery Initiative(CFI)



気候情報に基づいた
漁業に対するアドバイスの
実用化に向けたACLIMの位
置づけ

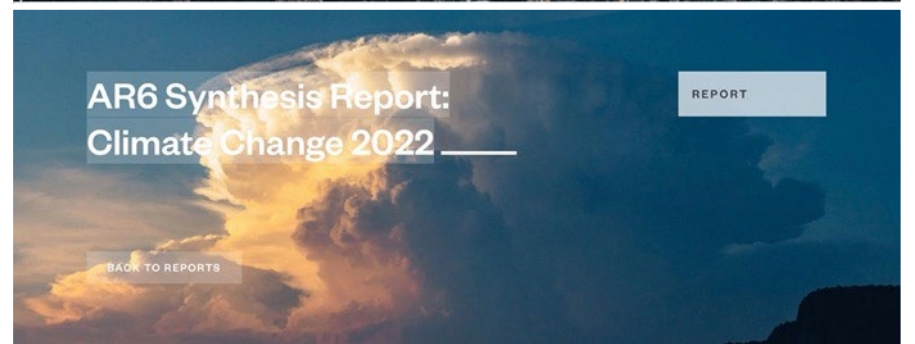




The United Nations
Decade of Ocean Science
for Sustainable Development
(2021-2030)



IPCC 評価レポート





有難うございました！



- ACLIM 1.0 資金:
 - Fisheries & the Environment (FATE)
 - Stock Assessment Analytical Methods (SAAM)
 - Climate Regimes & Ecosystem Productivity (CREP)
 - NMFS Economics and Human Dimensions Program
 - NOAA Integrated Ecosystem Assessment Program (IEA)
 - NOAA Research Transition Acceleration Program (RTAP)
 - Alaska Fisheries Science Center
- ACLIM 2.0 資金:
 - NOAA's [Coastal and Ocean Climate Applications \(COCA\) Climate and Fisheries Program](#)
 - NOAA Integrated Ecosystem Assessment Program (IEA)
 - Alaska Fisheries Science Center

協力:

- NPRB & BSIERP Team
- GOA-CLIM Team
- AFSC REEM, REFM, RACE
- ICES PICES Strategic Initiative on climate change and marine ecosystems (SICCME/S-CCME)
- NPFMC Climate change task force, the Ecosystem Committee of the NPFMC
- FAO
- MAPP

ご質問承ります

kirstin.holsman@noaa.gov



用語集

- IPCC : 国連気候変動に関する政府間パネル
- NOAA : 米国海洋大気圏局
- NMFS : アメリカ海洋漁業局
- Council : 北太平洋漁業管理委員会
- CE - : “気候変動” -
- GCM : 大気循環モデル(全球範囲)
- RCP : 代表濃度経路
- FEP : 水産生態系計画
- ROMS : 地域海洋モデル
- NPZ : 動物性プランクトンモデル
- CEATTLE : 温度と栄養の関連性とエネルギーモデルによる気候強化評価
- FEAST : 時空間モデルによる飼料とオキアミの評価
- SES : 社会・生態系

ACLIM 文献:

1. (in review) Torre, M. , W. T. Stockhausen, A. J. Hermann, W. Cheng, R. Foy, C. Stawitz, K. Holsman, C. Szuwalski, A. B. Hollowed. (In Review). Early life stage connectivity for snow crab, *Chionoecetes opilio*, in the eastern Bering Sea: evaluating the effects of temperature-dependent intermolt duration and vertical migration. Deep Sea Research II.
2. (2021) Whitehouse, G. A., K. Y. Aydin, A. B. Hollowed, K. K. Holsman, W Cheng, A. Faig, A. C. Haynie, A. J. Hermann, K. A. Kearney, A. E. Punt, and T. E. Essington. Bottom-up impacts of forecasted climate change on the eastern Bering Sea food web. *Frontiers in Mar. Sci.*
3. (2020) Holsman, K.K., A. Haynie, A. Hollowed, J. Reum, K. Aydin, A. Hermann, W. Cheng, A. Faig, J. Ianelli, K. Kearney, A. Punt. (2020) Ecosystem-based fisheries management forestalls climate-driven collapse. *Nature Communications*. DOI:10.1038/s41467-020-18300-3
4. (in review) Thorson, J., M. Arimitsu, L. Barnett, W. Cheng, L. Eisner, A. Haynie, A. Hermann, K. Holsman, D. Kimmel, M. Lomas, J. Richar, E. Siddon. Forecasting community reassembly using climate-linked spatio-temporal ecosystem models. *Ecosphere*
5. (Accepted) Szuwalski, W. Cheng, R. Foy, A. Hermann, A. Hollowed, K. Holsman, J. Lee, W. Stockhausen, J. Zheng. Climate change and the future productivity and distribution of crab in the Bering Sea. *ICES JMS*
6. (2020) Reum, J. C. P., J. L. Blanchard, K. K. Holsman, K. Aydin, A. B. Hollowed, A. J. Hermann, W. Cheng, A. Faig, A. C. Haynie, and A. E. Punt. 2020. Ensemble Projections of Future Climate Change Impacts on the Eastern Bering Sea Food Web Using a Multispecies Size Spectrum Model. *Frontiers in Marine Science* 7:1–17.
7. (2020) Hollowed, A. B., K. K. Holsman, A. C. Haynie, A. J. Hermann, A. E. Punt, K. Aydin, J. N. Ianelli, S. Kasperski, W. Cheng, A. Faig, K. A. Kearney, J. C. P. Reum, P. Spencer, I. Spies, W. Stockhausen, C. S. Szuwalski, G. A. Whitehouse, and T. K. Wilderbuer. 2020. Integrated Modeling to Evaluate Climate Change Impacts on Coupled Social-Ecological Systems in Alaska. *Frontiers in Marine Science* 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00775>
8. (2019) Holsman, KK, EL Hazen, A Haynie, S Gourguet, A Hollowed, S Bograd, JF Samhour, K Aydin, Toward climate-resiliency in fisheries management. *ICES Journal of Marine Science*. 10.1093/icesjms/fsz031
9. (2019) Hermann, A. J., G.A. Gibson, W. Cheng, I. Ortiz1, K. Aydin, M. Wang, A. B. Hollowed, and K. K. Holsman. Projected biophysical conditions of the Bering Sea to 2100 under multiple emission scenarios. *ICES Journal of Marine Science*, fsz043, <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz043>
10. (2019) Reum, J., JL Blanchard, KK Holsman, K Aydin, AE Punt. Species-specific ontogenetic diet shifts attenuate trophic cascades and lengthen food chains in exploited ecosystems. *Okios* DOI: 10.1111/oik.05630
11. (2019) Reum, J., K. Holsman, KK, Aydin, J. Blanchard, S. Jennings. Energetically relevant predator to prey body mass ratios and their relationship with predator body size. *Ecology and Evolution* (9):201–211 DOI: 10.1002/ece3.4715