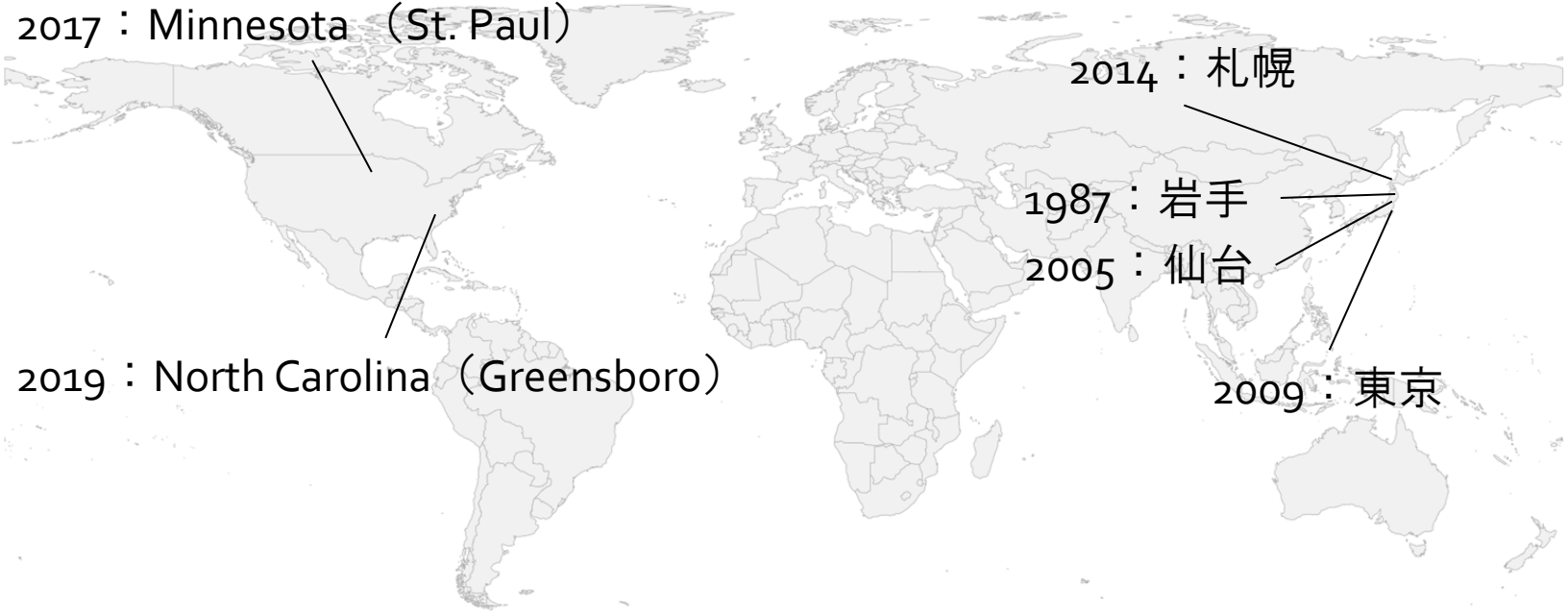
生態学の基礎理論と応用：
孵化放流事業の効果について再考する

照井　慧
University of North Carolina at Greensboro

研究の興味：「基礎」生態学

生物と環境の関わり合い方、その法則性や合理性の探求
河川の貝類、魚、昆虫などを対象

研究の興味：「基礎」生態学


2017：Minnesota （St. Paul）
2014：札幌
1987：岩手
2005：仙台
2019：North Carolina（Greensboro）
2009：東京

研究の興味：「基礎」生態学

生態学における「基礎」となる問い

- なぜここには他よりたくさんの種がいるのか？
- なぜこの２種は同じ場所で共存できるのか？など

野外調査、実験、数学、統計学を駆使して調べる
でも、**わかっても産業の役に立たない？**

...今日のテーマ「放流事業の影響評価」へ

Pictures from Pixabay https://pixabay.com/

人工繁殖による保全・資源管理

人の手で増やし、野外へ；目的は様々、保全や資源管理

魚介類

植物

鳥類・哺乳類

Pictures from Pixabay https://pixabay.com/

漁業におけるふ化放流事業

「ふ化放流」卵を孵して放す

日本：
放流含む内水面・サケマス資源対策予算
2023　16億円
水産庁：令和６年度水産予算概算要求の概要
https://www.jfa.maff.go.jp/j/budget/attach/pdf/index-25.pdf

アメリカ：
ふ化放流事業に関する予算
2023　~200億円（$133M）
FY2023 US Fish & Wildlife Sevice
https://www.doi.gov/sites/doi.gov/files/fy2023-bib-fws-508.pdf

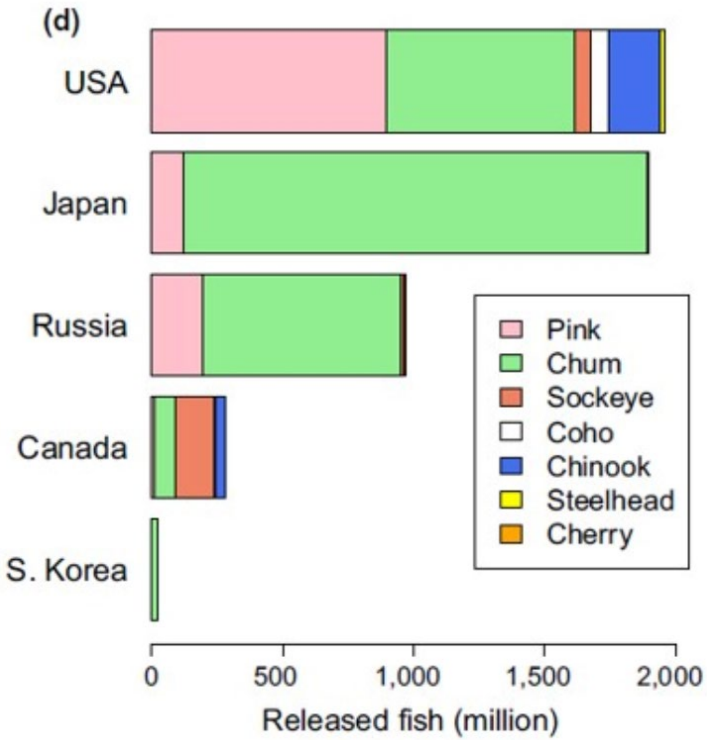


Figure from Kitada 2018, Fish and Fisheries, CC BY 4.0 DEED

ふ化放流をめぐる議論

- 放流魚は野外で生き残りが悪く、かつ野生魚と交雑して不利な特徴が次世代に遺伝した

  (ニジマスの例：Araki et al. 2007, Science)

- 飼育環境で寄生虫が蔓延し、放流にともなう野生集団への感染拡大と資源減少を招いた

  (カラフトマスの例：Krkosek et al. 2007, Science)

「でも、“数”を放せば増えるだろう」という考えもある

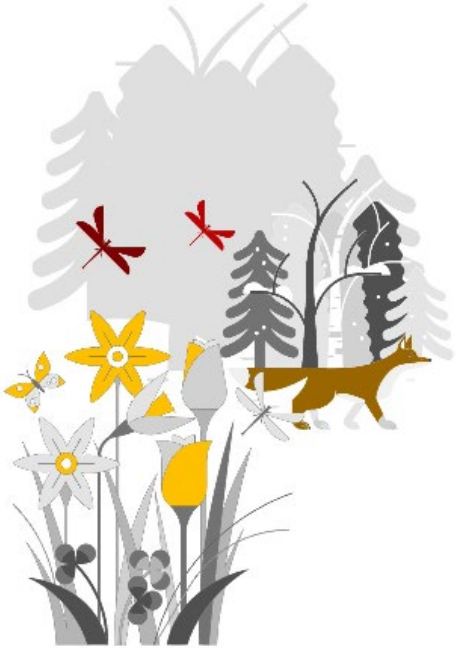
本当にそうか？自然はもっと複雑

生態学をふまえた私の考え：

“**数を放せば増える？**”

自然はいろんな生物が作用しあう複雑系。むしろ、

“**何が起きるかわからない**”はずでは？



何が起きうるのか？群集*の視点から

自然では、いろんな種がエサや棲み処（資源）をめぐって争う
つまり、**生態系の器（環境収容力）**には限界がある

過度の放流は：

- 本来起きえないような規模の種内・種間競争を招く
- もともと共存していた種が淘汰される可能性も？

*ある場所にすむ様々な種の集合を「群集」とよぶ

問い

放流は生物群集にどんな影響を及ぼすのか？

…生態学の基本を応用してこの問いに答える

数理的なアプローチ

数理モデル*

生態学の基本モデル（リッカーモデル）を拡張：
<u>資源をめぐる競争</u>に加え、<u>放流</u>の効果を取り入れる

$$N_{i,t+1} = \left(N_{i,t} + \phi_i \mathbf{R_t}\right) e^{\left[r_i\left(1-\frac{N_{i,t}+\alpha_{i1}\mathbf{R_t}+\sum_{j=1}^{S}\alpha_{ij}N_{j,t}}{K_i}\right)+\varepsilon_{t,i}\right]}$$

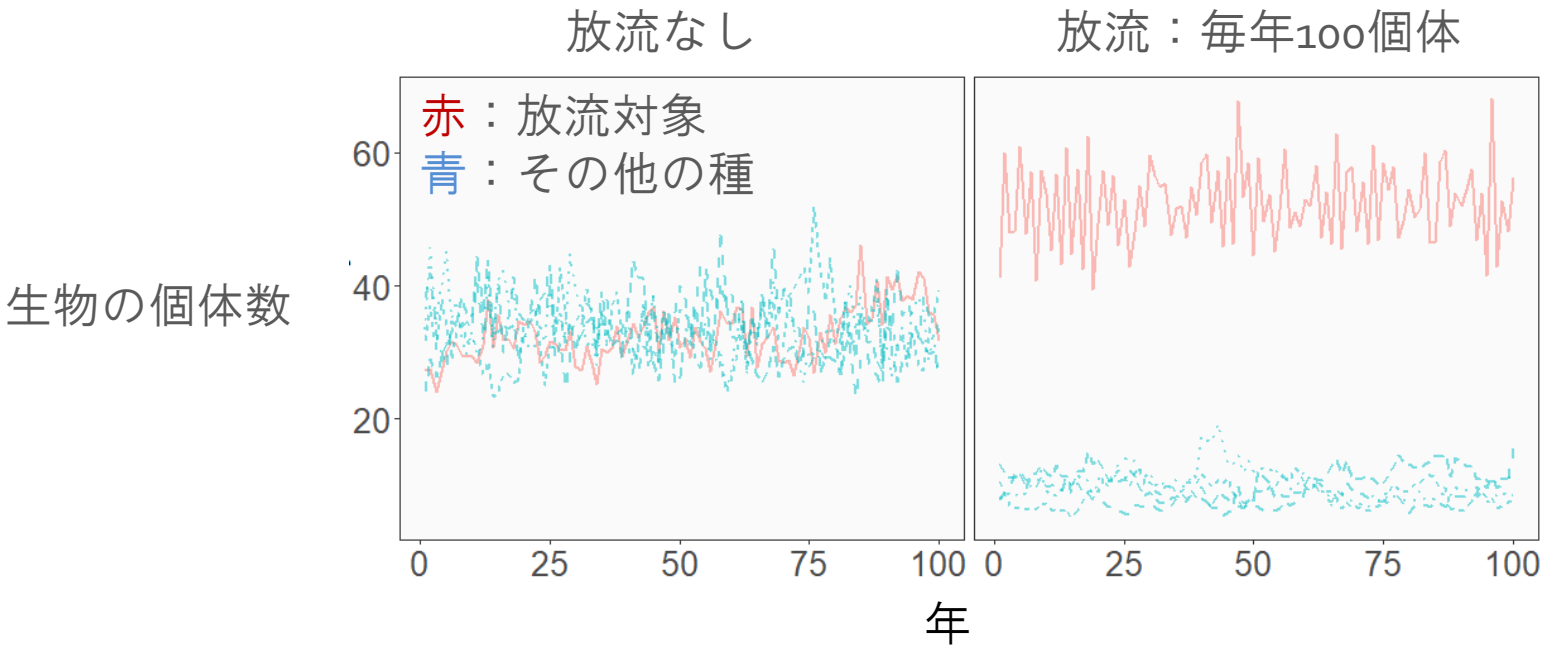
$N_{i,t+1}$が生物の数、項R_tが放流の数を表す

この数式から何がわかるのか？
放流数を増やしたときの生物群集の応答をシミュレート（予測）できる！

*この場合、生物間の関わり合いや繁殖力などを模した数式を指す

シミュレーションの例

生物の数の変化：放流のあり・なしで比較



見たいもの

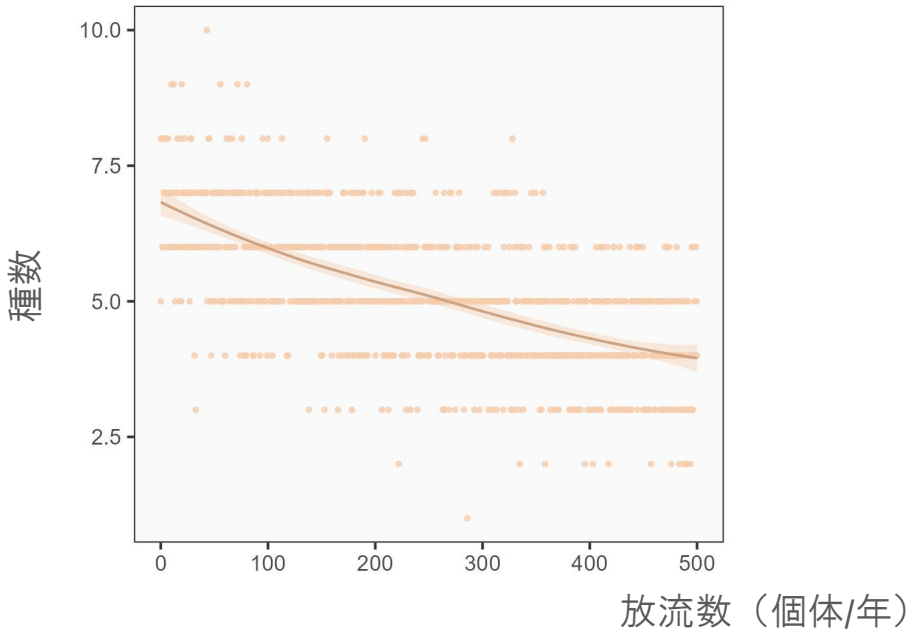
放流数（個体/年あたり）を増やした時：

- 生き残る種の数（種数）はどうなるか？
- 生物の数*はどうなるか？

*個体数は長期間の平均値で評価

シミュレーション：種数

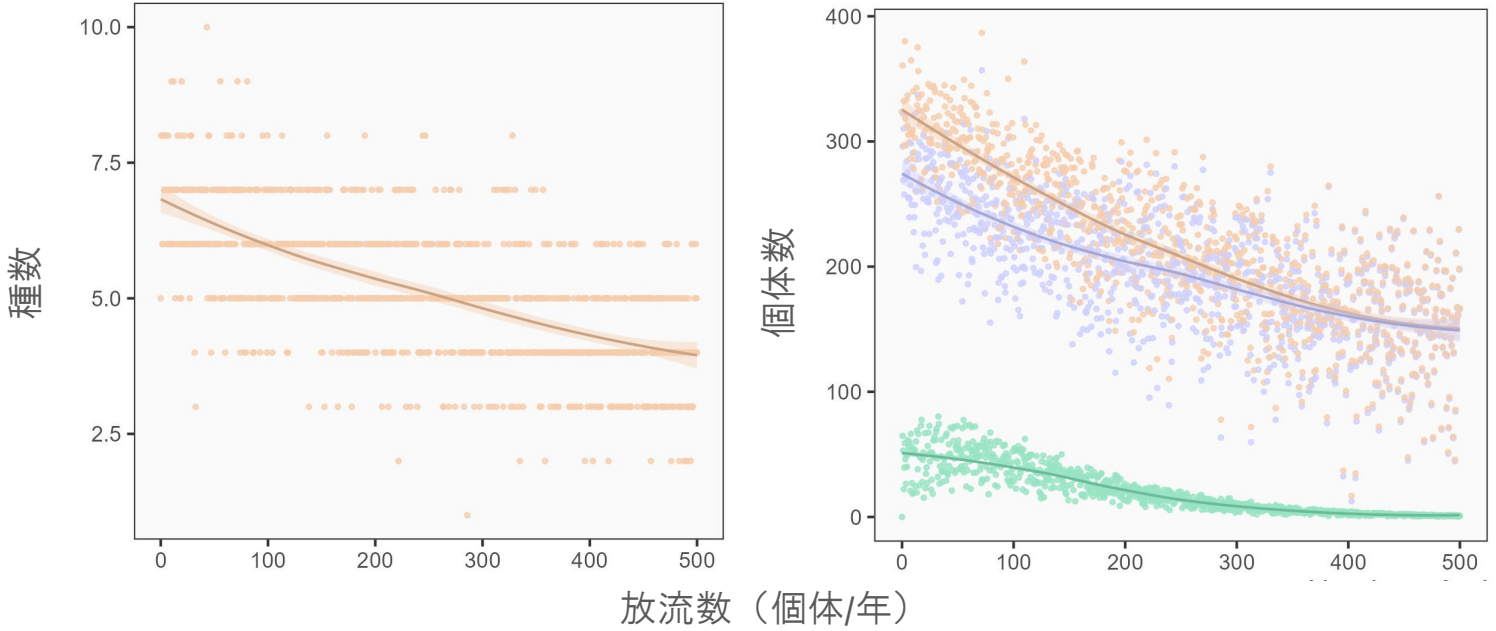
放流数が増えるほど種数は減少 ↓



Published in Terui et al. 2023 PNAS

シミュレーション：個体数

総個体数、放流対象種、その他の種…すべてが減少



Published in Terui et al. 2023 PNAS

なぜ？

競争の激化、繁殖に貢献せず死亡：

- この効果は「生態系の器」が小さいときに顕著
- 例えば、環境悪化（器が小さい）の補償として放流すると
  この悪影響が前面に

放流対象種は増えるシナリオも：

- この効果は以下のシナリオに限られる
  （1）生態系の器が極めて大きい、かつ
  （2）放流数が少ないとき
- **ただし、その他の種は常に減少**

自然界で本当に起きているのか？

例：北海道の川魚

- 川魚の長期モニタリング
  （97地点*、1999-2019年）
- 保護水面：良い環境を維持
- サクラマス放流数にばらつき
  (0 - 0.25 百万尾/年）

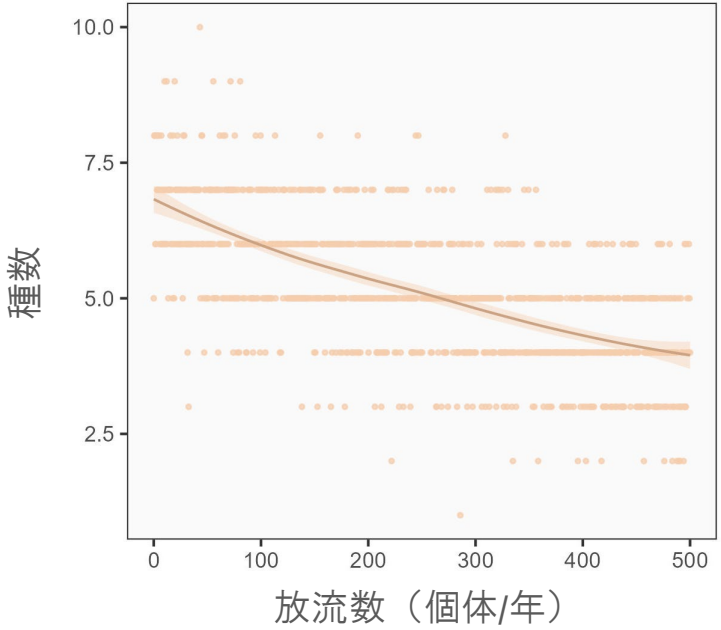
サクラマス幼魚（照井撮影）

＊100地点以上で調査：解析目的でデータの量や質を精査

Photo credits: 宮崎佑介

群集の応答：種数

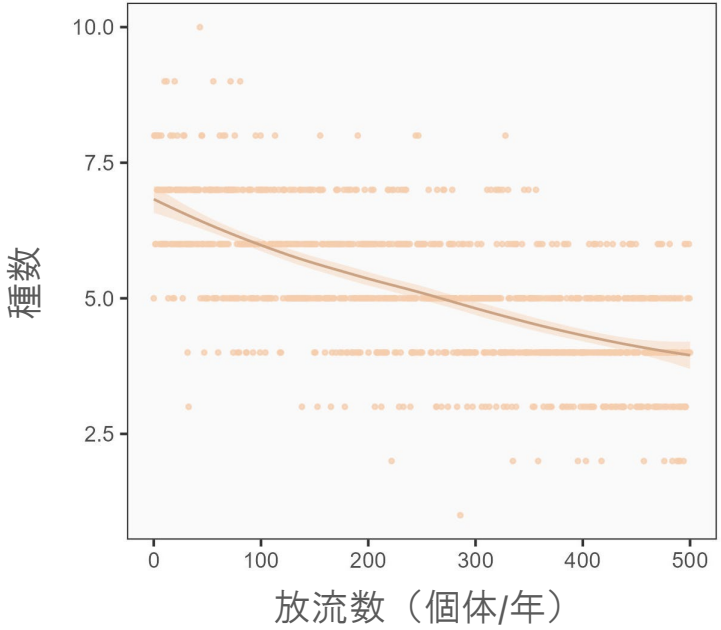
シミュレーションの予測 ...種数の減少 ↓

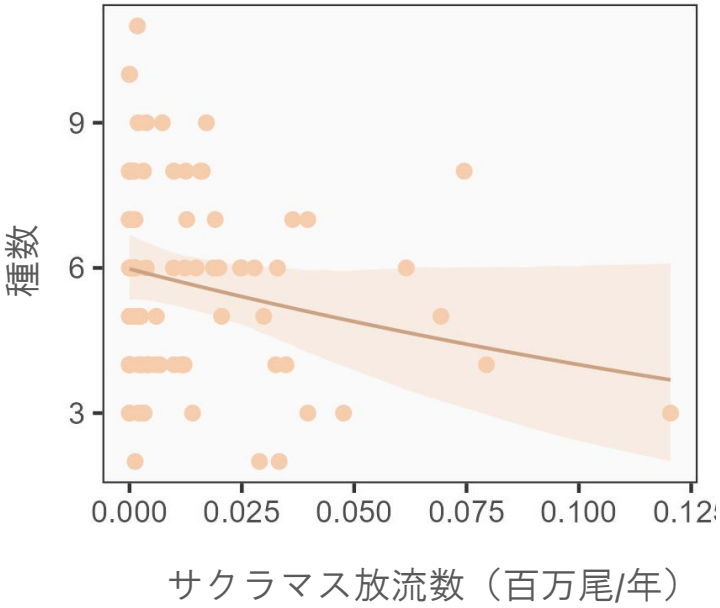


Published in Terui et al. 2023 PNAS

群集の応答：種数

北海道で観察された応答...種数の減少

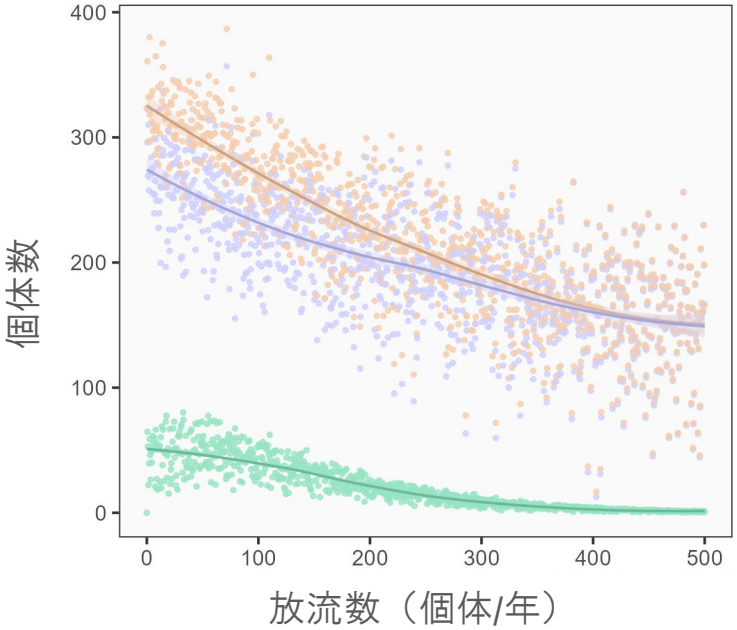




Published in Terui et al. 2023 PNAS

各種の応答：個体数

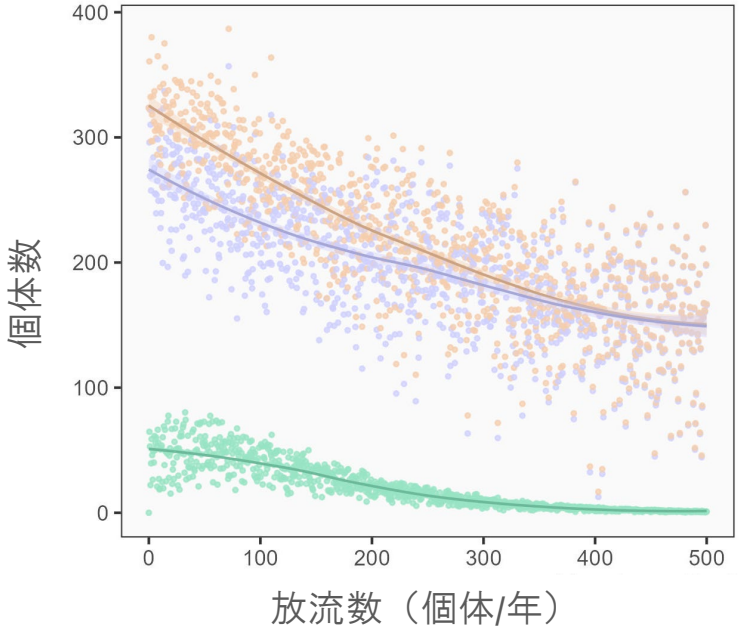
シミュレーションの予測 ...個体数の減少 ↓

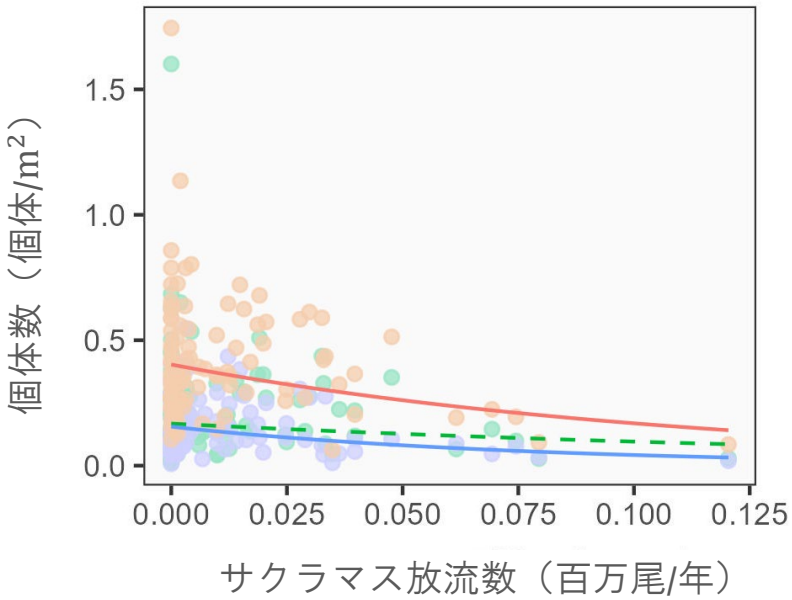


Published in Terui et al. 2023 PNAS

各種の応答：個体数

北海道で観察された応答...個体数の減少





Published in Terui et al. 2023 PNAS

問い

放流は生物群集にどんな影響を及ぼすのか？

（今回の）答え

数理的アプローチ（一般化；魚に限定されない）

- 過度の放流が生物を増やすのは稀
- むしろ、（放流対象含む）生物群集の減少を招きやすい

北海道の事例

- シミュレーション予測と符合する結果
- 放流でサクラマス（放流対象）は減った
- ほかの魚類も減った

放流うまくいかず；サクラマスは例外？

例外とは言い難い；

207のサケマス放流の効果を解析

- 83%で「負の効果」
- 負の効果 には以下が含まれる：

  放流対象種の

  ①個体数減少

  ②遺伝的多様性の減少

  ③繁殖に貢献する個体数の減少*

*Effective population sizeを指す

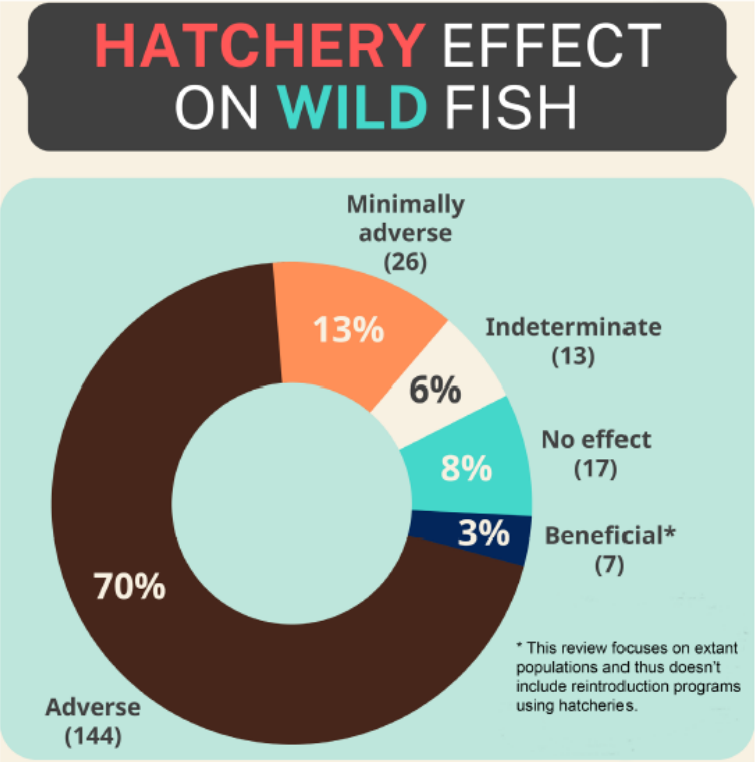


Figure from McMillan et al 2023, Fisheries Management and Ecology
CC BY-NC-ND 4.0 DEED

どうすればいいのか？

私の考え：

場の保全・再生を優先

科学的サポート：

ドイツ、湖の魚の実験

- 放流は効果なし
- 浅瀬の創出は<u>効果あり</u>

(Radinger et al. 2023, Science)

Picture from Pixabay https://pixabay.com/

「役に立たない基礎」はない

生態系の器（環境収容力*1）は昔からある考え

- この生態学の基礎のひとつを放流の評価に応用
- 基礎が確立→応用しやすい
- いい基礎なくして、いい応用なし
- 「役に立たない」ではなく、「どう役立てるか」

*1少なくとも1950年代から

引用文献

Araki et al. 2007 Genetic effects of captive breeding cause a rapid, cumulative fitness decline in the wild. Science 318: 100-103

Kitada 2018 Economic, ecological and genetic impacts of marine stock enhancement and sea ranching: A systematic review. Fish and Fisheries 19: 511-532

Krkosek et al. 2007 Declining wild salmon populations in relation to parasites from farm salmon. Science 318: 1772-1775

McMillan et al. 2023 A global synthesis of peer-reviewed research on the effects of hatchery salmonids on wild salmonids. Fisheries Management and Ecology 30: 446-463

Radinger et al. 2023 Ecosystem-based management outperforms species-focused stocking for enhancing fish populations. Science 379: 946-951

Terui et al. 2023 Intentional release of native species undermines ecological stability. PNAS 120: e2218044120