

# サケ学入門

サケマスの自然再生産と保全  
—野生魚とふ化放流魚の遺伝学—

北海道大学大学院 農学研究院

荒木仁志

# サケってなに？

狭義の「サケ」 = シロザケ (*Oncorhynchus keta*)



(google images)



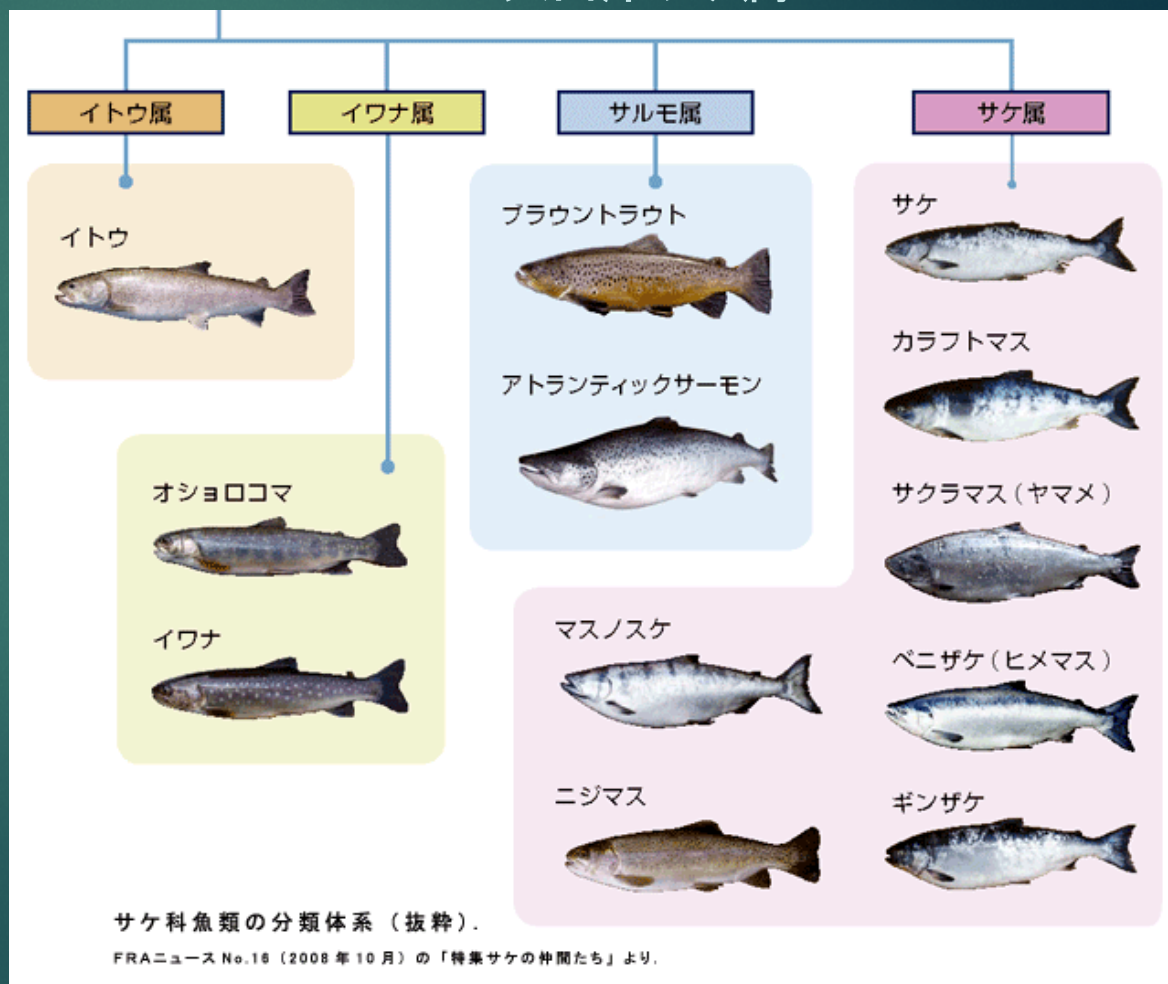
# サケってなに？

広義の「サケ」 = サケマス (サケ科・サケ亜科の魚)

大西洋サケ属

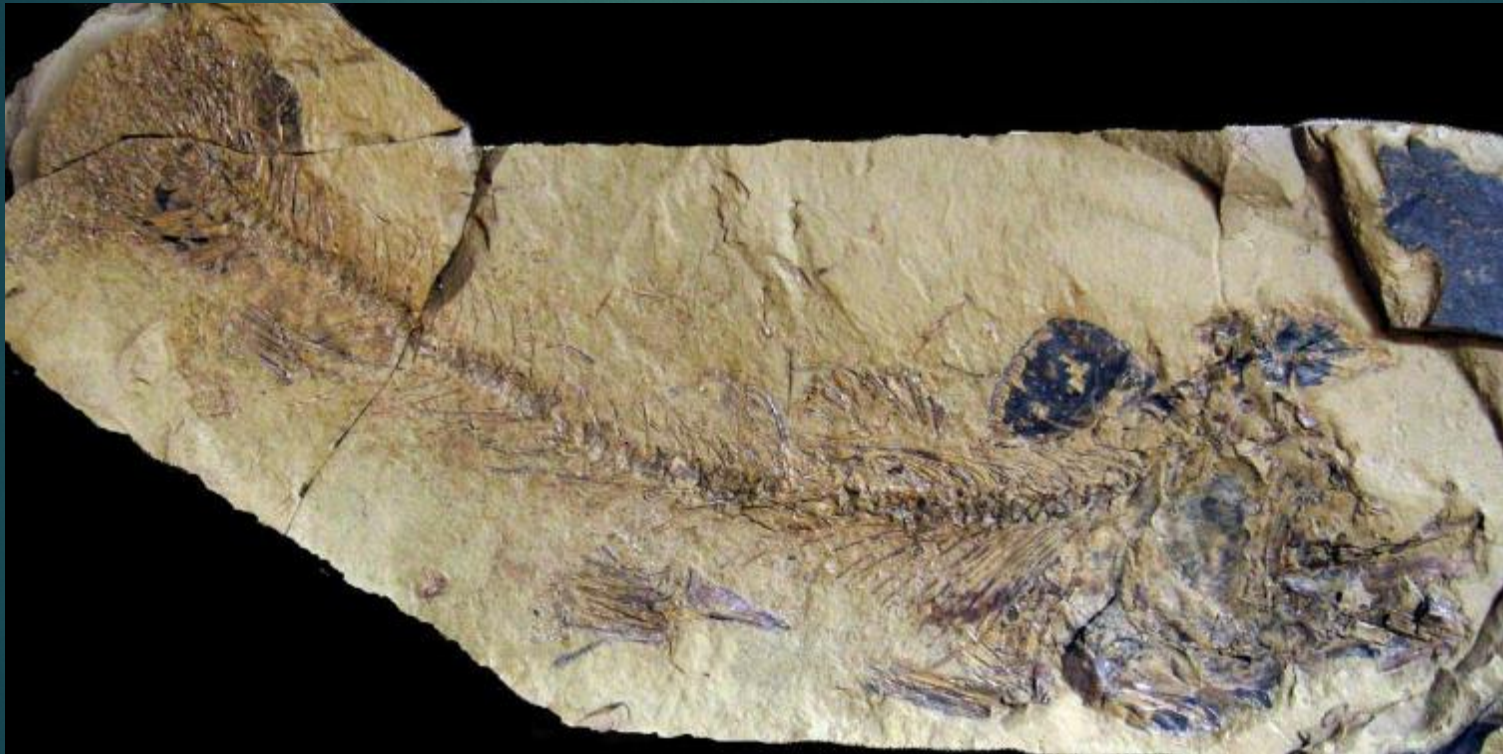
大平洋サケ属

≡ アブラビレのある  
冷水性の魚



# サケってなに？

サケの起原 (始新世、約5,000万年前？)



*Eosalmo driftwoodensis* (サケ科魚類の先祖？)

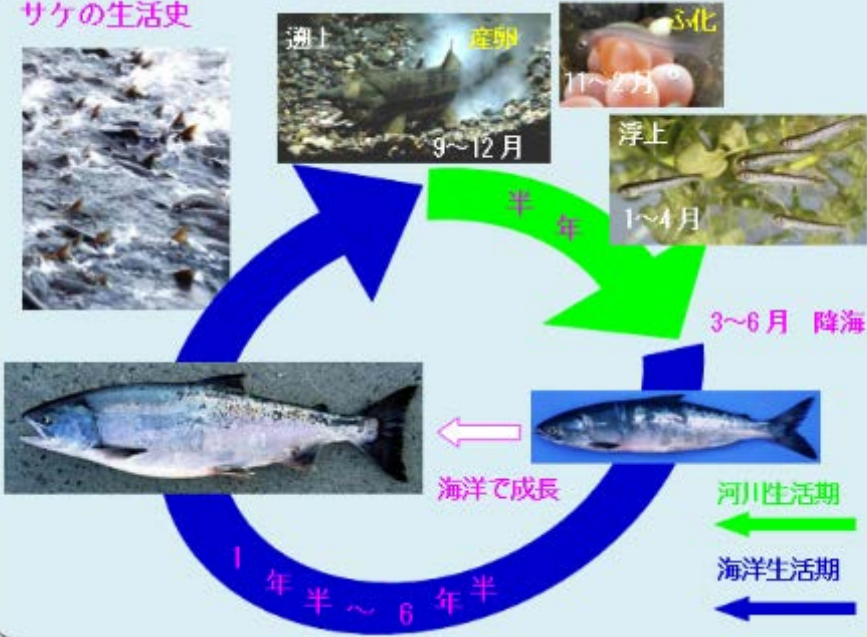
(50 million-years old, found in Klondike Mountain Formation, WA, USA)



# サケマス其自然再生産と保全

# サケ科魚類の生活史

サケの生活史



サクラマス



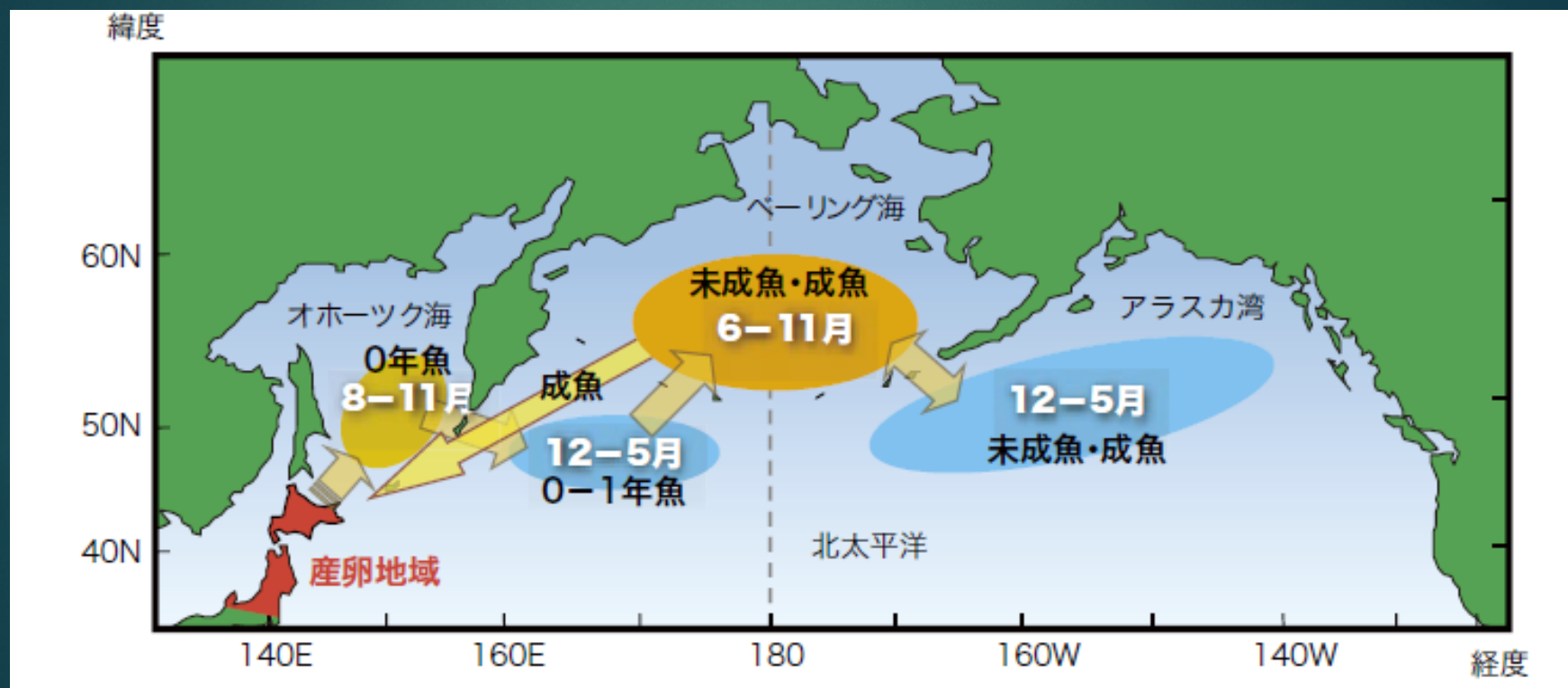


# サケ科魚類の生活史



分布：北太平洋・ベーリング海

(日本海側：北九州の遠賀川、太平洋側：利根川が南限)



# サケ科魚類の生活史



## サケの生活史



- 捕獲
- 人為交配
- ふ化場でふ化
- 人工飼育
- 放流



人工飼育されるサケ



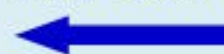
海洋で成長



河川生活期



海洋生活期



1年半～6年半



# 日本のサケの多くは人工孵化

= 日本に野生のサケはもういない？



# 「サケはサケ」仮説

人為的にふ化放流されたサケ

野生魚と何も変わらない？



# 本日の命題



野生魚＝自然河川で生まれた魚

**彼らが一体十二モノで、  
今後どう付き合っていくのか？**

そもそもふ化放流魚とはどう違う？

「サケの生態学・遺伝学」

# ふ化放流魚と野生魚の違い



vs. 「サケはサケ」 仮説

## 当世代(放流魚)

生残率の変化

採餌行動、天敵からの回避能力の変化

母川回帰能力、時期の変化

産卵行動の変化

## 次世代(放流魚の子孫)

ふ化放流効果の「遺伝」?



# オレゴン州・フード川のスチールヘッド研究



## 科学

「養殖っ子」自然に戻れず?

北米の回遊魚でDNA親子鑑定

何世代もの手育てで  
られた魚は、自然なか  
らざるども多く残せな  
くないのでは。米オレ  
ゴン立大の荒木仁恵さん  
らの研究チームが北米の  
魚「スチールヘッド」の  
調査を進めた。養殖魚  
の手も天然の魚の1  
3を割合に川に戻っ  
てきた。川を遡上して  
きた魚を片っ端から  
生け捕り、5年かけて約  
1万5千匹の親子関係を  
DNA鑑定した成果だ。

(福地優一)

スチールヘッドは北米  
や極東アジアを原産  
地として海を渡り、ニ  
シマス、日本にいるシ  
マアヒとも似たが、  
これは生まれ、北米の  
で過した。北米は平  
をさる年回遊し、生  
れた川に戻る。大きい  
のは1以上を育つ。  
荒木さんによると、北  
米のスチールヘッドは  
理や人工繁殖で激減し  
20世紀後半から養殖  
種魚を育てて放流する  
り祖が確立した。米北  
部のフード川では国や  
政府が15年前から、湖  
の人工水路を通る  
スチールヘッドをすべ  
生け捕りにし、調査を  
している。

研究チームは、生け捕  
った魚を採取し、その  
からDNAを抽出し、約  
1万5千匹の親子関係  
を調査。その結果、養  
殖魚が100から約10  
世代にわたって繰り返  
育てられてきた魚の  
は、天然の魚の61.30  
に投立した研究事例だ。

**魚資源回復  
役立つ研究**

水産総合研究センター  
さけますセンター(札幌  
市)遺伝資源研究室の浦  
和茂所長の話。人の手  
で育てる水産物の変化や  
病変などへの適応力が下  
がる、とも言われている。  
「これまで既製の魚を  
かましても影響を研究した  
例は、日本ではほとんど  
少く、日本では、減少  
している魚資源の回復  
に役立つ研究事例だ。

記者席

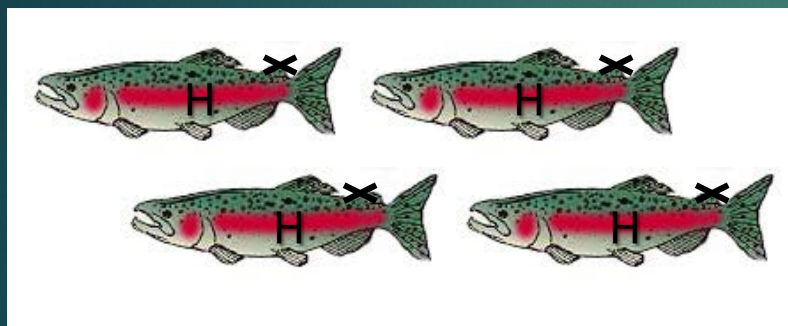
「養殖っ子」のDNA鑑定が、自然に戻れず、北米の回遊魚でDNA親子鑑定。養殖魚の手も天然の魚の1/3を割合に川に戻った。川を遡上してきた魚を片っ端から生け捕り、5年かけて約1万5千匹の親子関係をDNA鑑定した成果だ。

養殖っ子 記者席

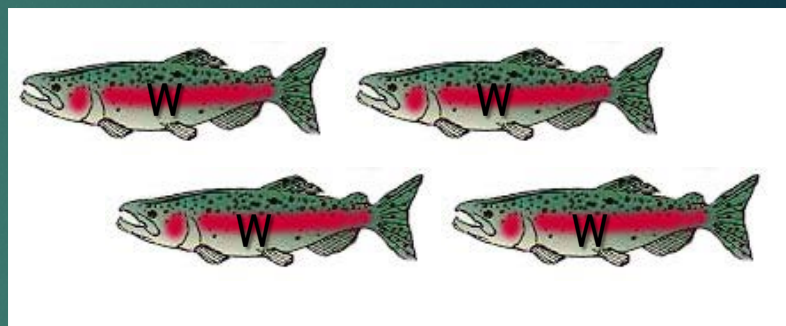
# 知りたかったこと: その1

## ふ化放流魚は自然繁殖に成功しているか？

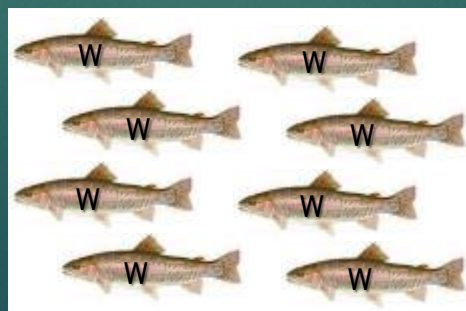
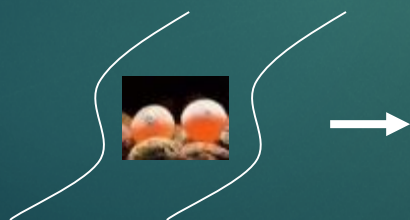
ふ化場由来の親魚(放流魚)



河川生まれの子孫(野生魚)



「自然再生産」

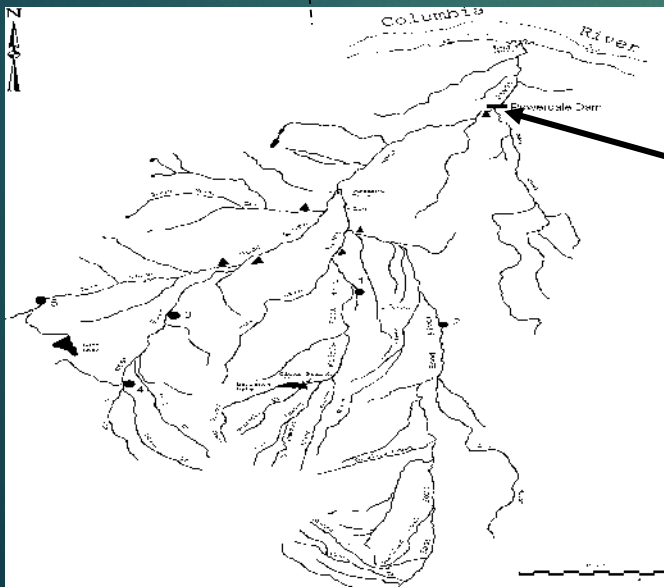




# オレゴン州フッド川



- 過去16年間のほぼ完全な集団サンプルが存在
- 約1万6千個体について遺伝子型決定(3世代分)
- DNA親子鑑定により遡上親魚の両親を特定
- 親の由来(野生・放流)に基づき自然繁殖成功度を評価(親魚一次世代の親魚)



パワーデルダムの遡上魚捕獲施設

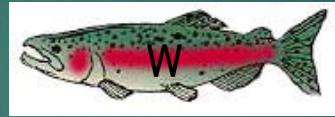
# 自然繁殖成功度

= 川で放流魚が野生魚の何倍子孫を残せたか(1親あたり)

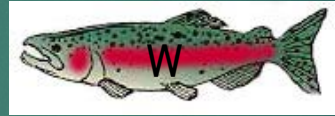
野生魚



野生の子供



ふ化放流魚



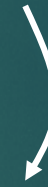
DNA親子鑑定

自然繁殖成功度  
(ふ化放流 vs. 野生)

2

1

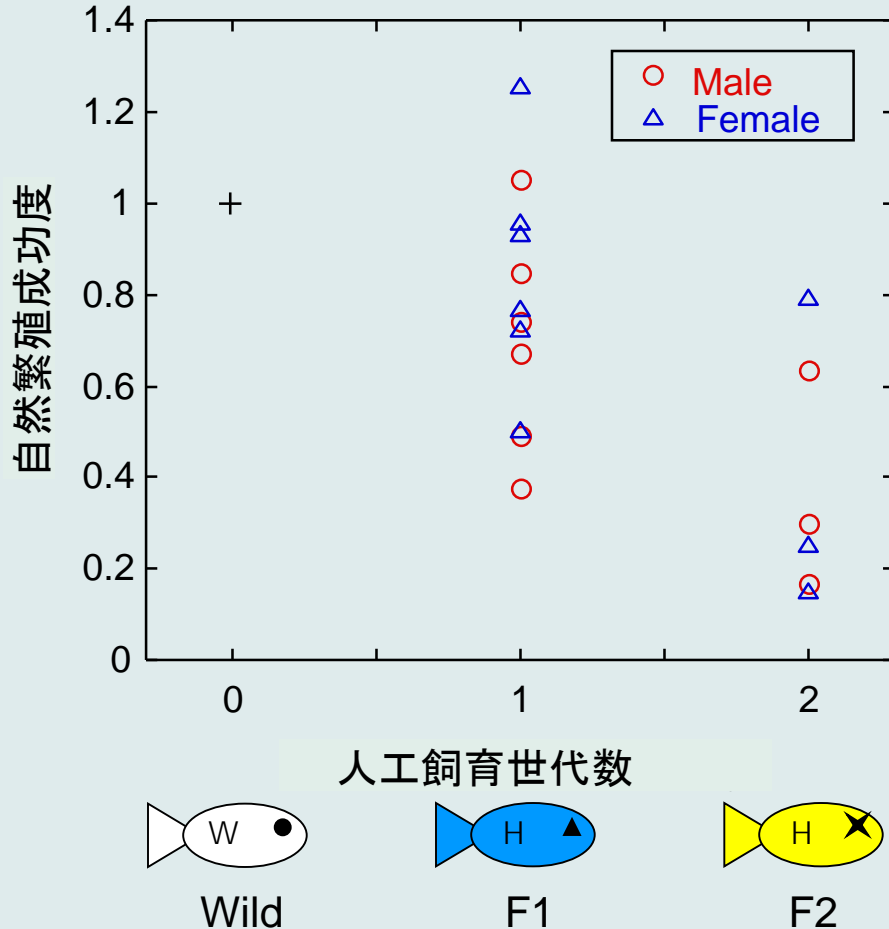
50%



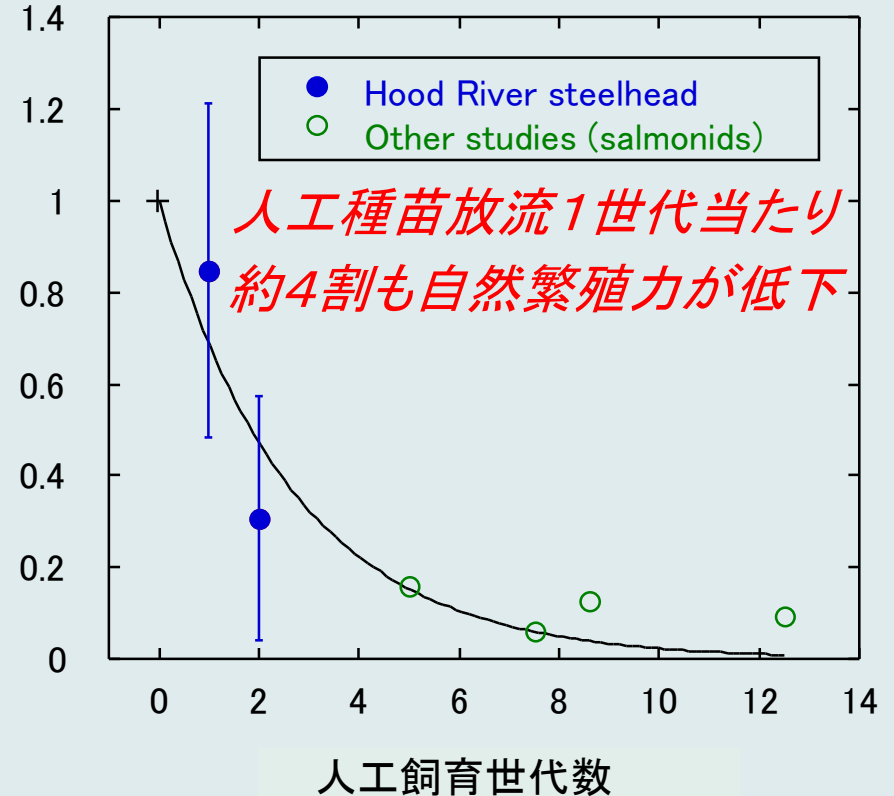


# ふ化放流魚の自然繁殖力は、世代ごとに低下する

A) フッド川のスチールヘッド



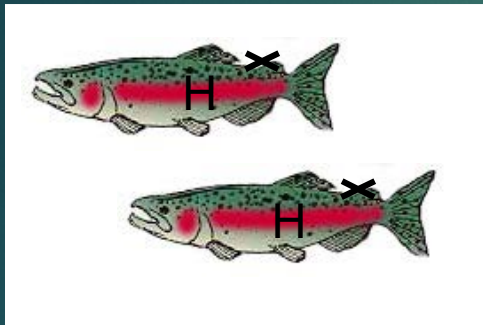
B) 一般傾向 ( $y = e^{-0.375x}$ ,  $R = 0.963$ )



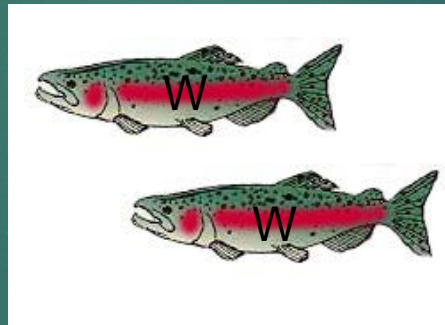
# 知りたかったこと: その2

ふ化放流魚の子孫である野生魚は自然繁殖に成功しているか？

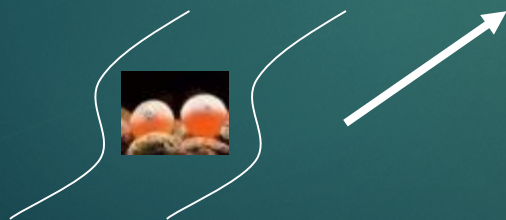
F1 (ふ化放流魚)



F2 (ふ化放流魚から生まれた野生魚)



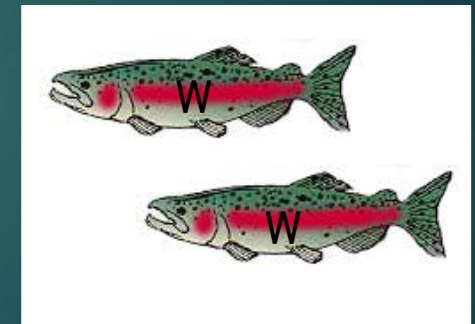
↓ 自然繁殖力 ↓



↓ ?



F3 (ふ化放流魚の孫)

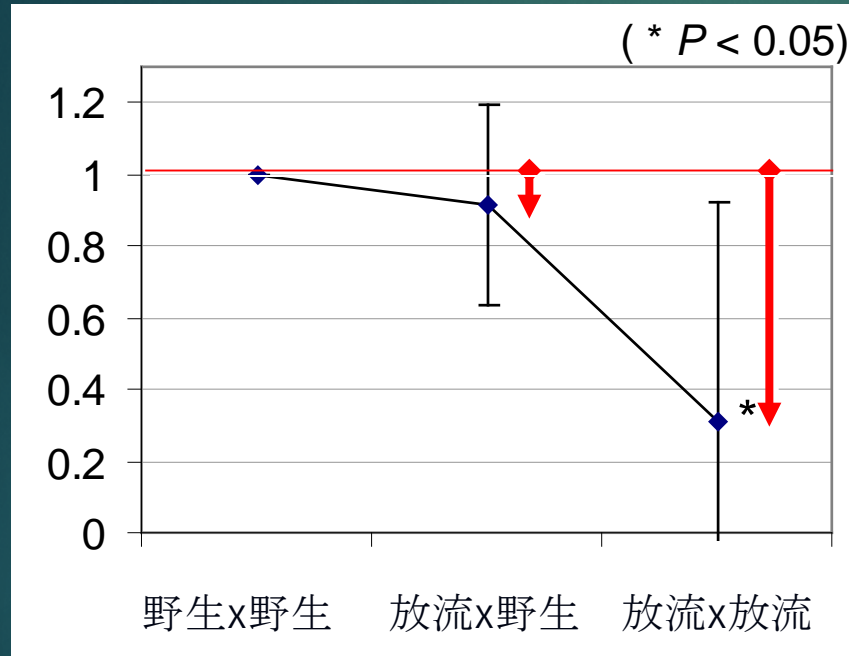




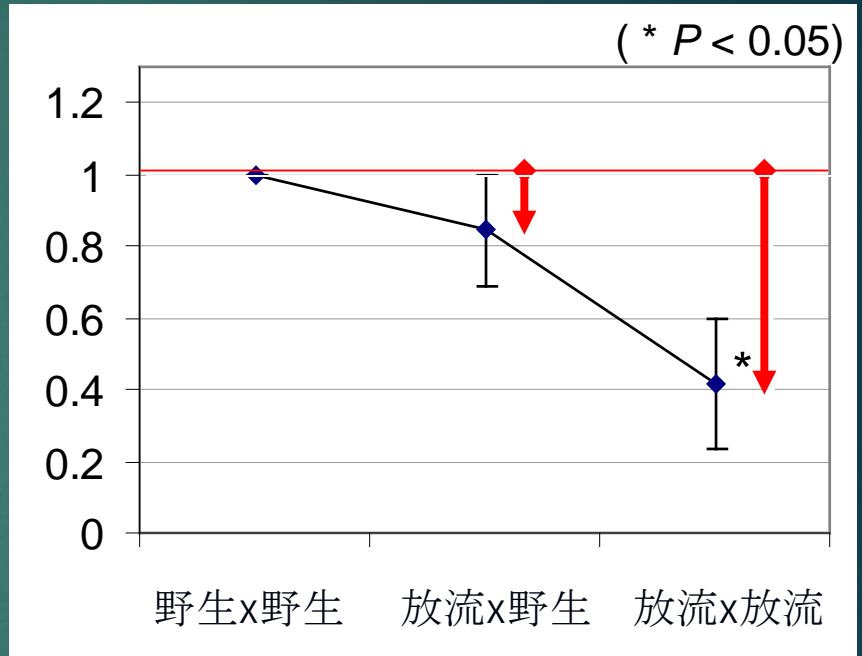
# ふ化放流効果の「遺伝」?

自然繁殖成功率

F2-オス



F2-メス



W[WxW]



W[CxW]



W[CxC]



W[WxW]



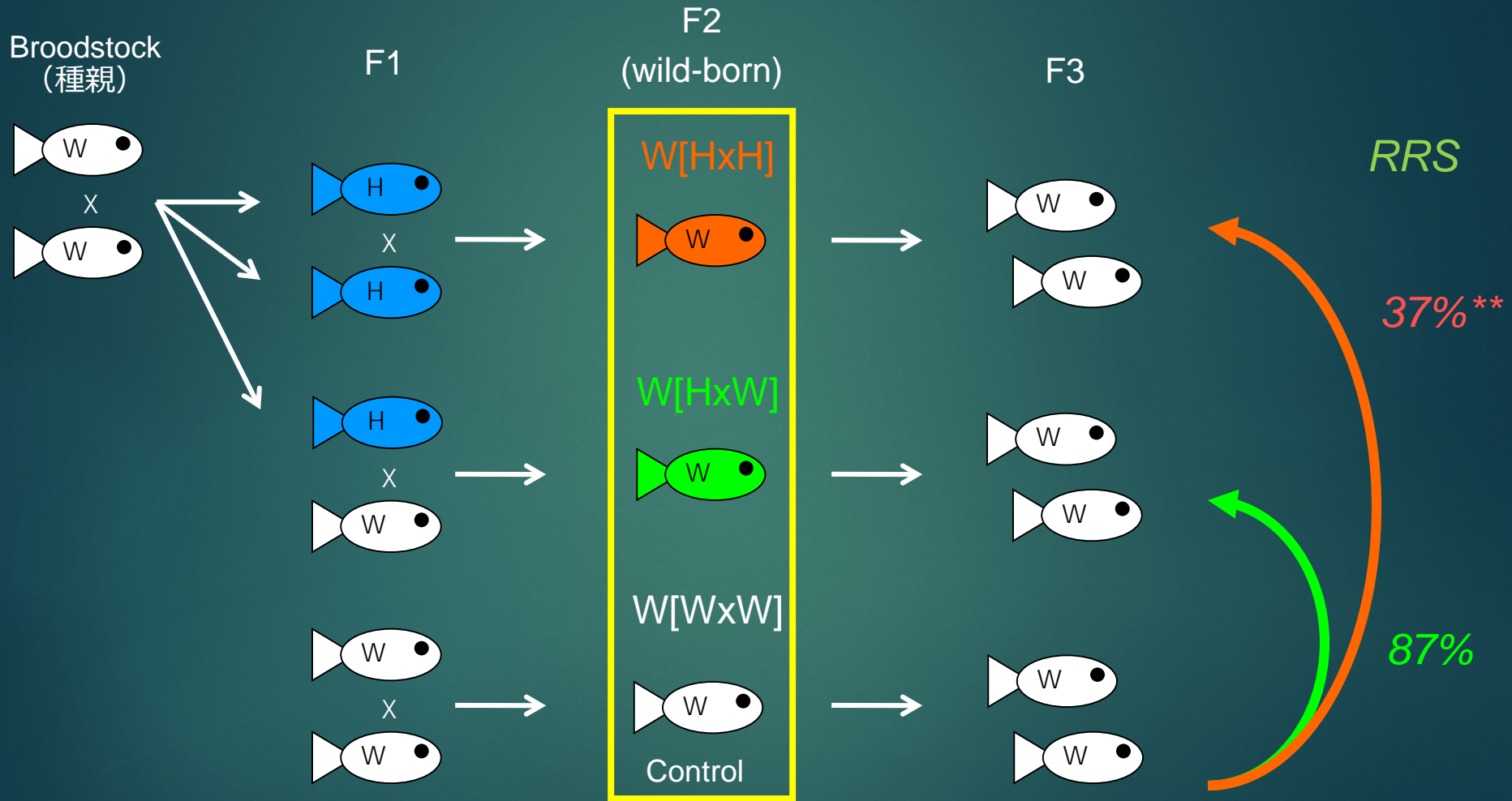
W[CxW]



W[CxC]



# 自然繁殖力低下の「持ちこし効果」



野生魚集団の資源量が8%低下



# 種特異的？

Williamson et al. (2010) CJFAS 67:1840-1851

Wenatchee River, Washington のマスノスケ (*O. tshawytscha*)  
放流オスで2-83%の相対自然繁殖成功度 (メスでは48-215%)



Hess et al. (2012) Mol. Ecol. 21:5236-5250

Salmon River, Idaho のマスノスケ  
放流オスで80-123%の相対自然繁殖成功度 (メスでは85-122%)

N.S.

Thériault et al. (2011) Mol. Ecol. 20:1860-1869

N. Umpqua River, Oregon のギンザケ (*O. kisutch*)  
放流オスで48-74%の相対自然繁殖成功度 (メスでは76-91%)



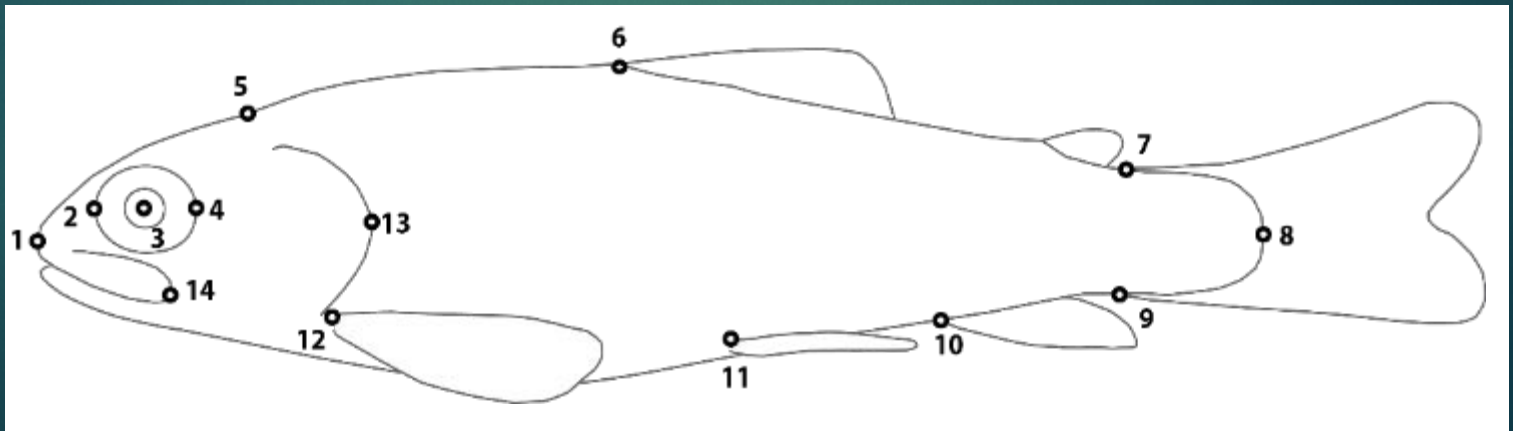


繁殖力低下のメカニズム？



# 「魚の形」に適応的变化?

Geometric Morphometrics (G-M) 法

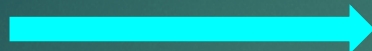


# 「魚の形」に適応的变化?



## Neuchatel 2009 sampling design

52 captive mothers  
30 wild fathers



69 wild mothers  
23 wild fathers



### 1st hatchery sampling



2½ months after fertilisation

N=200 N=196



### 2nd hatchery sampling



6½ months N=200 N=126



### 3rd hatchery sampling



10½ months N=240 N=163

### River sampling



14 ½ months N=32 N=26





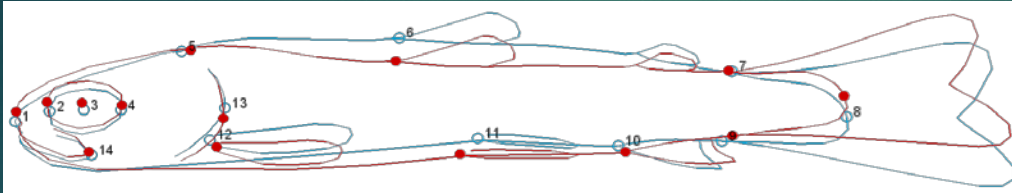
# 「魚の形」に適応的变化?



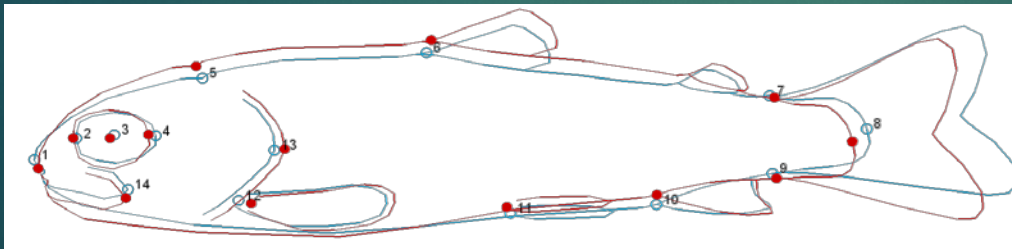
Q. 野生魚の子と放流魚の子、形に違いがある?

A. あった!

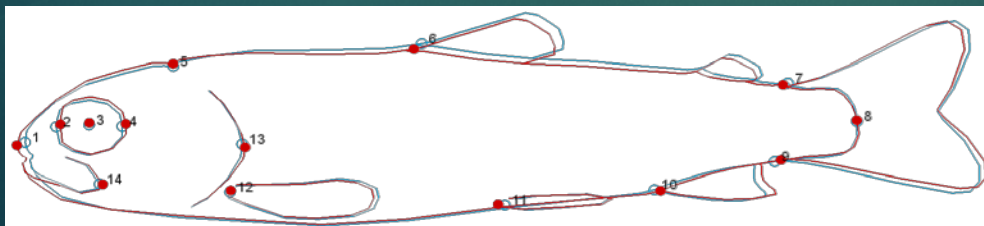
a) 1<sup>st</sup> sampling



b) 2<sup>nd</sup> sampling



c) 3<sup>rd</sup> sampling



Procrustes distances:

0.0122

MANOVA-test

P<0.001

0.0094

P<0.001

0.0046



# サーモン・ゲノム解読 (2016)

## ゲノムを解読すると、何が分かるの？

1. サケ科魚類の進化の歴史 (の一部)
2. サケが他の生物とどう違うか (遺伝子基盤)
3. ある形質や、環境適応に関わる遺伝子
4. より「良い」サケづくりへの足掛かり  
(味、育種、野生生物としての「サケ」)



# まとめ



## 人工飼育魚の自然繁殖成功度

- 継代飼育世代ごとに約 4 割の適応度低下
- ふ化放流魚を親に持つ野生魚でも著しい適応度低下

→ 「サケはサケ」仮説はもはや、通用しない・・・

## 繁殖成功度低下メカニズム

- 未だ未解明
- 「形」の変化と関連？
- 今後ゲノム解析でより詳細が明らかに

# 考察

サケ科魚類人工飼育の野生魚集団への遺伝的影響は不可避

さけます放流事業は必要（経済手段、絶滅回避手段としての有効性）

➡ 人工飼育環境の更なる改良（繁殖成功度を下げない種苗作り）

ふ化放流以外の保全手段（野生魚の活用？）

サーモンゲノム情報を用いた更なる理解



# 放流一辺倒から、多角的さけます保全へ

イギリス・ウェールズの決断 (2014. 10)

ふ化場の一部を「野生魚保全のため」閉鎖 (2015)

サケマス類の移動経路を整備 (魚道など、>1500 k m)

自然産卵床の整備 (家畜フェンス、砂利流出防止策など、>500 k m)



Cyfoeth Naturiol Cymru  
Natural Resources Wales

HIGH CONTRAST

ABOUT US  
REPORT IT!  
VACANCIES

FIND US  
CONSULTATION  
ALERTS

Search [naturalresourceswales.gov.uk](http://naturalresourceswales.gov.uk)

e.g., Flooding in Wales

## New approach to protecting wild salmon

PUBLISHED: 02 OCT 2014

A major change in the way Natural Resources Wales works to protect wild salmon has been agreed.

A comprehensive review of scientific research found that hatchery-reared young salmon have a much lower survival rate than young

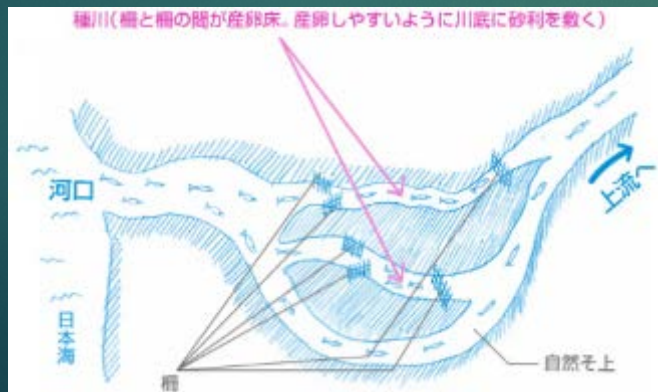


# 野生サケと人との関わり



## 日本での資源管理の歴史

- 1762 (江戸時代) ・ ・ 青砥武平治の「種川の制」  
新潟・村上藩 三面川でのサケ自然繁殖保全法  
明治時代には北海道でも広く採用
- 1873 (明治6年) ・ ・ 関沢明清がウィーン万博で海外のふ化技術を伝承
- 1877 (明治10年) ・ ・ 関沢明清が茨城県青柳村で日本初のサケ人工授精





# 野生サケと人との関わり



## 日本での資源管理の歴史

- 1888（明治21年）・・・伊藤一隆（札幌農学校一期生）が日本初の官営サケマスふ化事業を千歳ふ化場で開始
- 1934（昭和9年）・・・サケ漁獲低迷（100-1000万尾/年）を受け、民営主体だったふ化事業を官営化
- 1951（昭和26年）・・・GHQ顧問、リッチ博士の報告  
「人工ふ化放流の在り方についての批判」
- 1954-1958（昭和29-33年）・・・第1次さけ・ます増殖計画
- 1959-1963（昭和34-38年）・・・第2次さけ・ます増殖計画
- 1997（平成9年）・・・さけます資源管理センター設立（事業民営化へ）

# 札幌ワイルドサーモン プロジェクト



## 《目的》

豊平川生まれの野生サケをたいせつにしよう

## 《設立》

2014年1月

## 《メンバー約40人》

さけ科学館、研究機関、市民、河川管理者、行政  
など



# 野生サケを増やす取り組み



- ✓ 親が多いときは放流数を減らす  
約20万尾 → 約8万尾



普及放流だけ

- ✓ 川で卵を生みやすくする



# 野生サケと人との関わり

"We simply cannot have *salmon without healthy rivers,*"

- 健全な川なくして、サケマスの持続的資源活用はできない

