

循環式陸上養殖の現状と 課題・留意点について



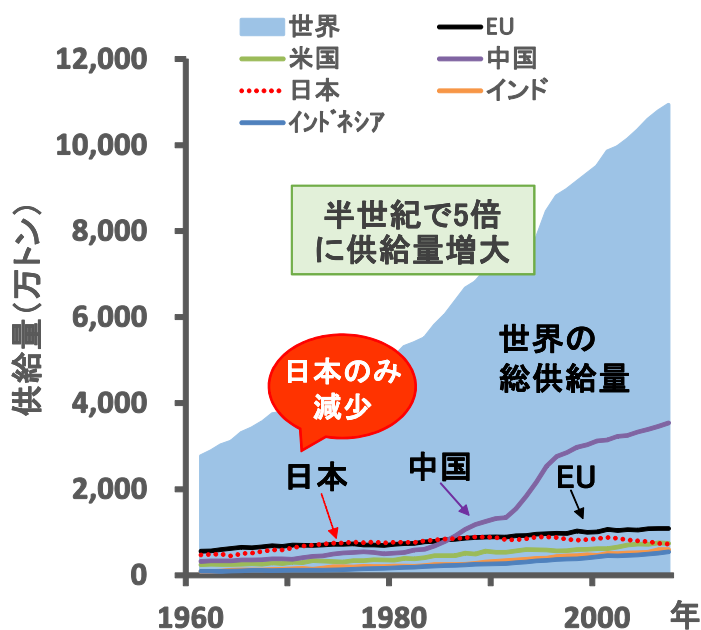
国立研究開発法人 水産研究・教育機構

瀬戸内海区水産研究所 屋島庁舎

代表発表 資源生産部 養殖生産グループ 森田 哲男

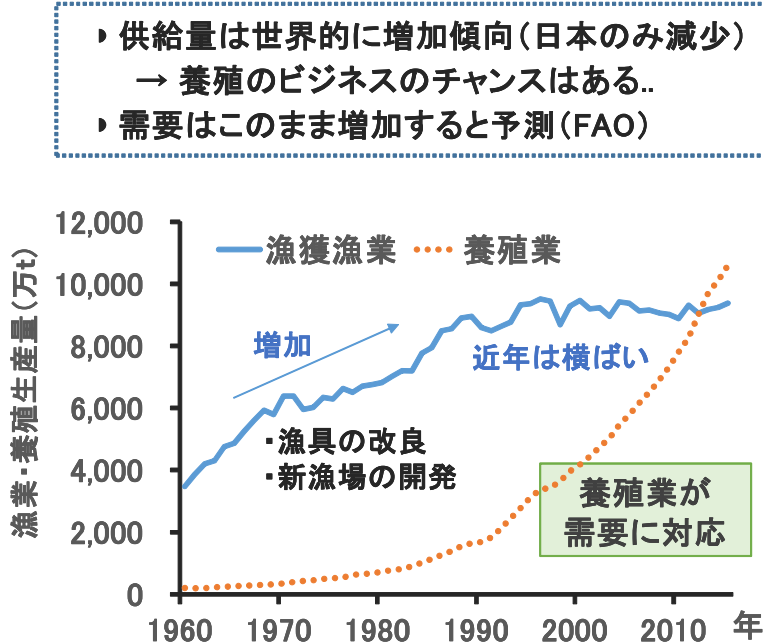
複写禁止

世界の食用魚介類の供給量について(魚類・海藻・貝類など)



世界の食用魚介類の年間供給量の推移

FAO(1960-2007)により作成



世界の漁業・養殖業生産量の推移

農林水産省HPIにより作成

海面養殖・内水面養殖が抱える問題

- 養殖適地の不足 ..海面養殖.....
- 養殖環境の悪化(病気の蔓延やヘドロ蓄積)
- 養殖従事者の高齢化と後継者の不足(厳しい労働環境)
- 漁業権により新規参入が困難(国内)

↓ 海面養殖による供給量拡大は限界

陸上養殖の拡大が不可欠

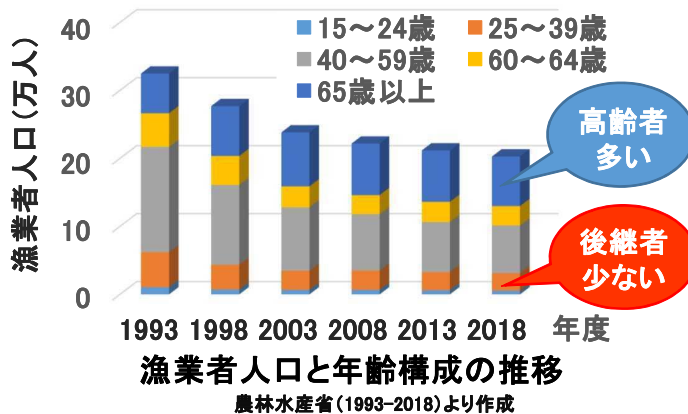
養殖の増産速度が停滞すると...

- ・世界的食糧不足
- ・新たな食糧確保が必要となる
- 養殖増産速度(1960→2015年) 約52倍(0.2→106 千万t)維持できるか

本格的な昆虫食の時代が来るのか?



左写真引用: 西日本新聞経済電子版
右写真引用: <http://katsujuku8317061.ti-da.net/e2949685.html>



農林水産省(1993, 1998, 2003, 2008)漁業センサスおよび、(2013, 2018)漁業就労動向調査書

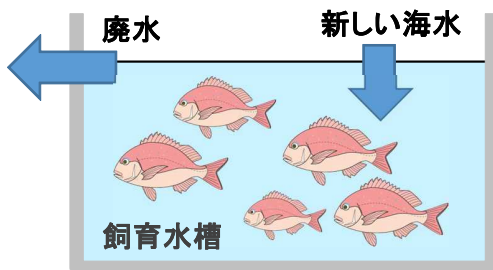
期待される陸上養殖(海水魚における一般的な流水式陸上養殖)

陸上養殖の共通のメリット

- ・労働環境改善(工場感覚) → 後継者不足解消に期待
- ・計画的な養殖が可能(時化や赤潮などの影響少ない)
- ・漁業権の規制を受けない → 新規参入が容易

流水式陸上養殖

飼育が容易・低コストであるため、急速に増加

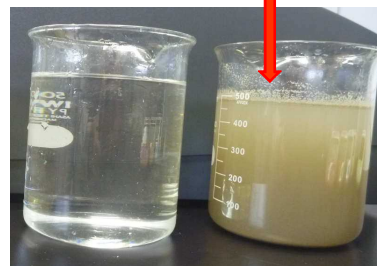
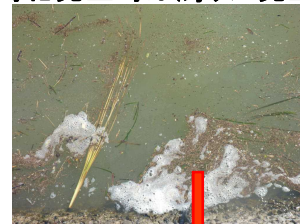


- ① 臨海部に立地制限
- ② 養殖できる魚種が制限される
 - ・病原菌や汚水侵入のリスクが高い
 - ・昇温・冷却コストが大きい

立地を選ばず養殖したい
新しい魚種に挑戦したい

生簀養殖との差別化図りたい

時化発生時は濁りが発生



循環式
(取水なし)

流水式
(取水あり)

循環式陸上養殖への期待

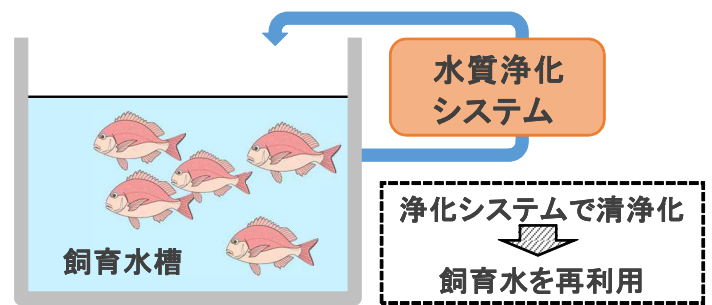
循環式陸上養殖

立地の制約が小さい

- ・ 飼育水は浄化して再利用(原則, 取水しない)

新しい養殖魚へ挑戦

- ・ 病原菌等への侵入リスク少ない
→ 病気に弱い魚種も養殖対象種にできる
- ・ 水温や塩分の調整が容易(安価)
→ 適正な環境で通年飼育できる
→ 高水温や低水温に弱い種も養殖可能



- 欧米が技術先進国(いわゆる, お手本)
- 浄化システムに経費を要する

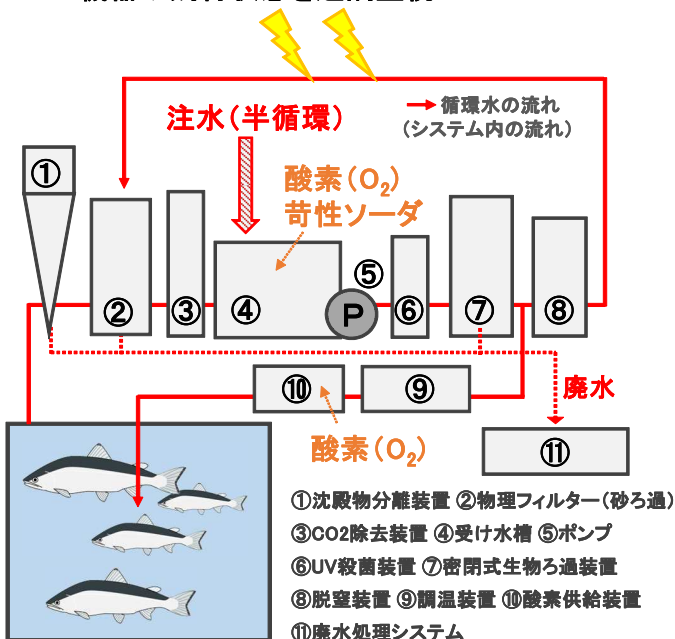


循環式陸上養殖が急速に増加

公的機関の飼育手法として注目
民間機関の新規参入

循環式陸上養殖の導入に向けた留意点

機器や飼育状態を遠隔監視



山本(2011)などを参考に作成

文献収集や先進的な欧米よりシステムを導入



〈視察・相談〉
軌道に乗らない

落とし穴(理解不足)

- 1 淡水と海水では機器の損耗が違う
(海水魚では, 様々な問題が...)
- 2 高スペックシステムが有利とは限らない
(小規模養殖ではコスト増の原因)
- 3 閉鎖循環と半循環システムの理解不足
(国内に多い閉鎖循環とは飼育レベルが違う)



せっかく芽生えたのに...
施設をつくってからでは遅い

経営破綻(循環飼育導入の断念)の一因になる

～失敗しないための留意点～ 1 海水と淡水では機器の損耗が大きく異なる

世界の常識は淡水魚

- ① 欧米などの養殖対象の主流は淡水魚 (ティラピア, ナマズ類, ウナギ類)
- ② 淡水魚は錆などが生じにくい



センサー類の電蝕



ポンプや殺菌装置の錆や電蝕



海水魚で用いると…

- ・ 錆や電蝕による施設や機器の消耗
- ・ 錆で測定機器や通信経路の不良

破綻の一因

設計段階で海水仕様にするのが重要

塩が付着することによる故障

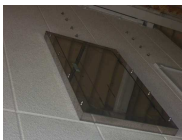


照明機器の塩害



配電盤や分電盤の錆

安定器などは天井へ移動



水槽蓋の設置や防塩カバーの設置だけで症状は軽減



～失敗しないための留意点～ 2 国内の小規模養殖では導入に注意

海外では、大型養殖場の事例が多い

- ① 水槽や機器が大型で高スペック(特に欧米)
- ② 遠隔監視や自動システムで制御

国内で用いると…



左写真引用: https://www.livingoceans.org/initiatives/salmon_farming/issues/land-based-aquaculture-recirculating-aquaculture-systems
 右写真引用: http://resizeandsave.online/dappy-July_10_2.html

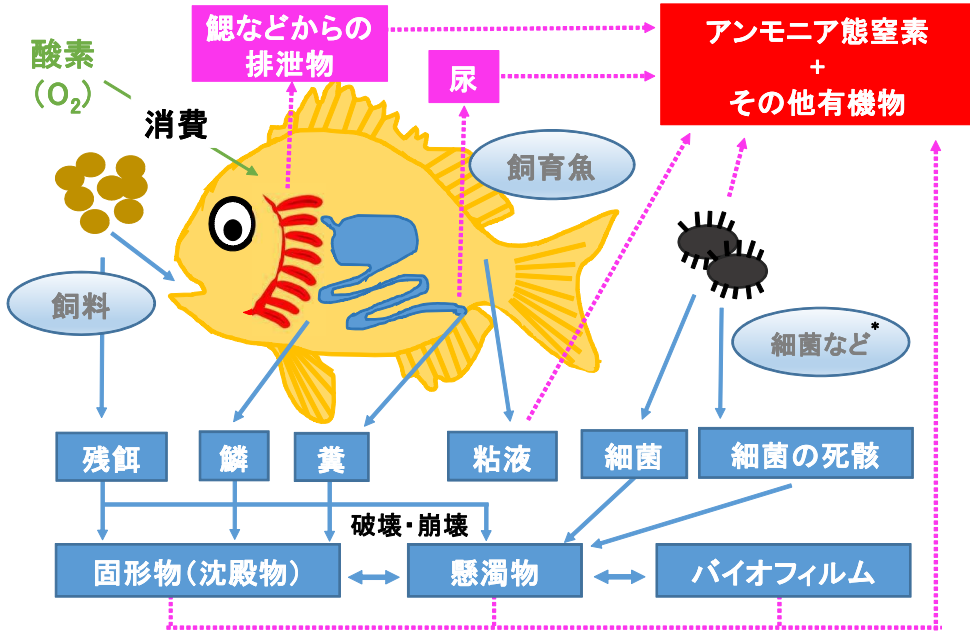
- サーモン等の大規模循環式養殖 (少数派)
 海水対応できれば、システムがフィットする
- 小規模循環式養殖, 親魚養成, 種苗生産 (多数派)
 オークスベックでコスト高
 システムが複雑で維持コスト増 → 修理の度に大きな出費
 現場で対応できない

もっと単純にできないのか?

イニシャルコスト
 ランニングコスト
 が経営に大きな負担

破綻の一因

～失敗しないための留意点～ 国内の小規模養殖では、どのようなシステム？



- ＜最優先事項＞
- アンモニア態窒素の増加
 - 強い毒性
 - 有機物(ゴミ)の蓄積
 - 餌食い低下や酸欠
 - アンモニア態窒素の増加
 - 酸素の不足
- ＜その他の事項＞
- pHの低下
 - 硝酸態窒素の蓄積
 - 二酸化炭素の蓄積 など

循環飼育では、系外に流出しない

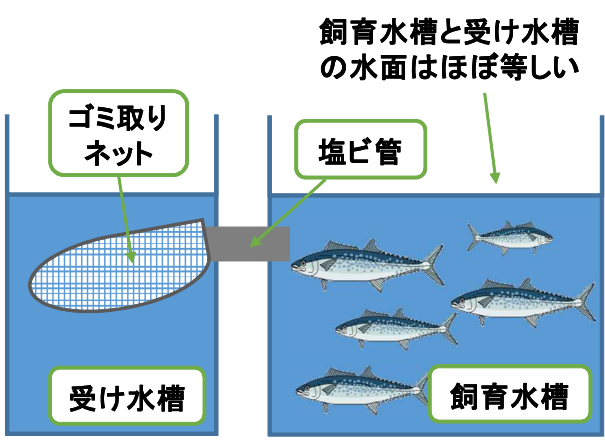
陸上養殖をモデルとした濁物やアンモニアの発生模式図

実線の矢印は排泄物の主要な経路を示しており、固形物等の発生メカニズムは多種多様である。破線の矢印は、アンモニア態窒素等の溶解性物質の主要な経路を示している。
*には、ウイルスや種苗生産時に用いる生物餌料(ワムシ、クロレラなど)なども含まれる。

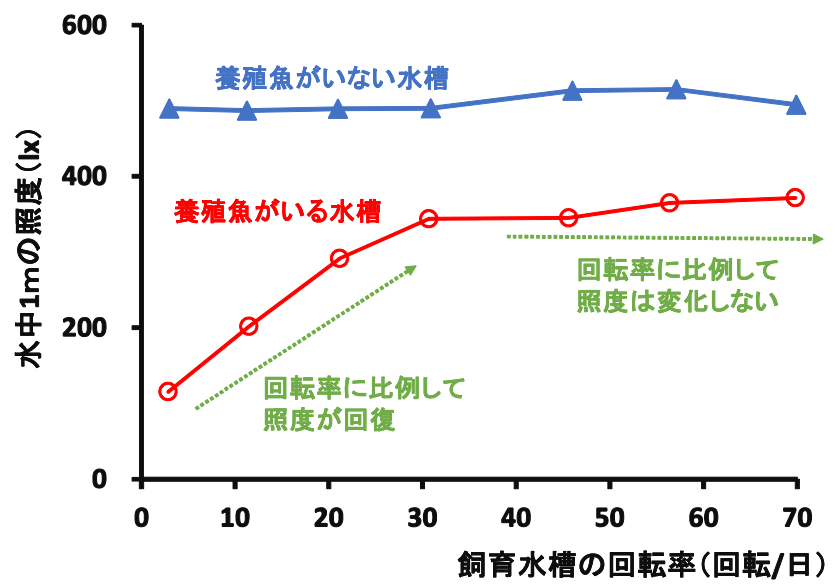
～失敗しないための留意点～ 国内の小規模養殖では、どのようなシステム？

ゴミ取りネットを用いた大きなゴミの除去

ゴミ取りネットの設置だけでも透明度は回復



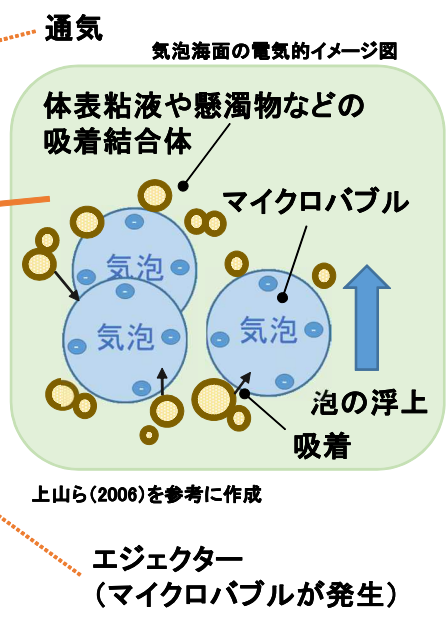
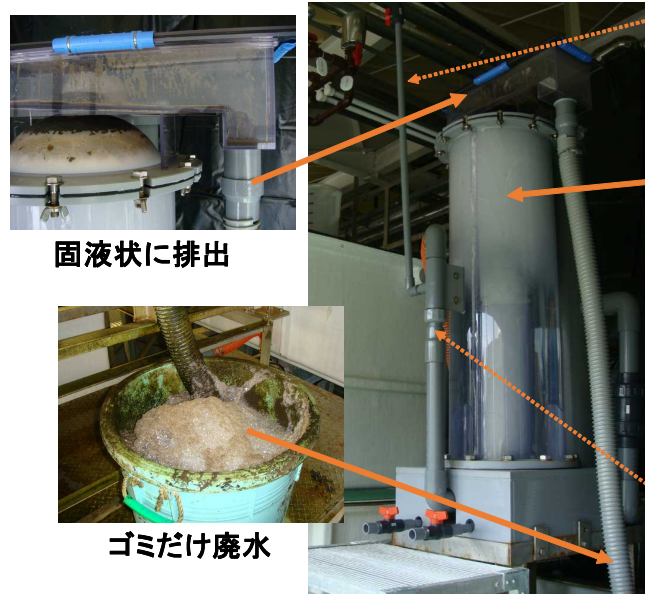
残餌や糞など
大きなゴミは、ほぼ捕捉できる



ゴミ取りネットには、直径150μのプランクトンネットを用いたため、懸濁したゴミも捕捉されている
飼育水槽と受け水槽の回転率と水中照度の関係の一例

～失敗しないための留意点～ 国内の小規模養殖では、どのようなシステム？

泡沫分離装置を用いた小さなゴミの除去



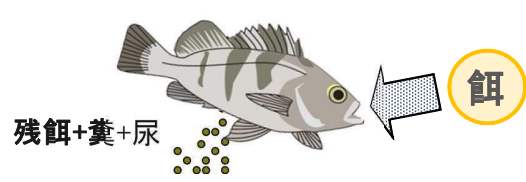
時化により、空気が水中に溶け込む
↓
泡沫が水面に発生
↓
泡沫が強風で飛ばされ「潮の花」に

水の浄化方法とその方法を用いる泡沫分離装置 (山本・土居 特許 第5130428)

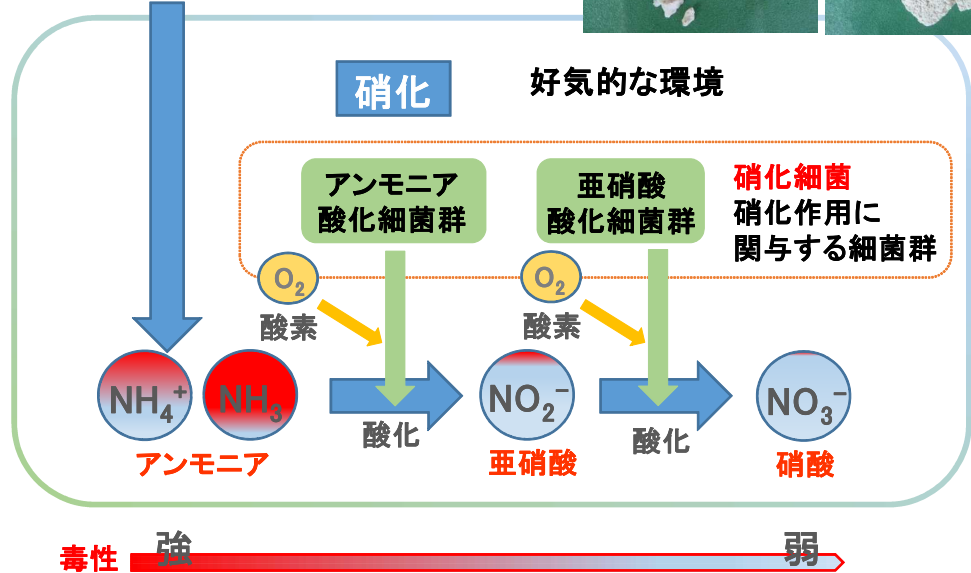
泡沫分離装置における懸濁物等除去のイメージ

上山智嗣・宮本誠(2006)第1章 身近なマイクロバブル, マイクロバブルの世界 ～水と気体の織りなす力～, 工業調査会, 9-22

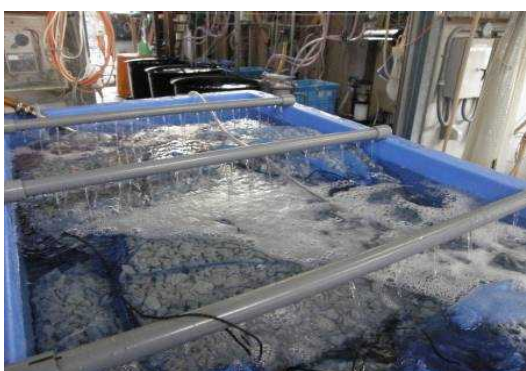
～失敗しないための留意点～ 国内の小規模養殖では、どのようなシステム？



ろ材に硝化細菌が棲息している
ろ材にカキ殻などを用いているのが
最大の特徴(pHの調整)

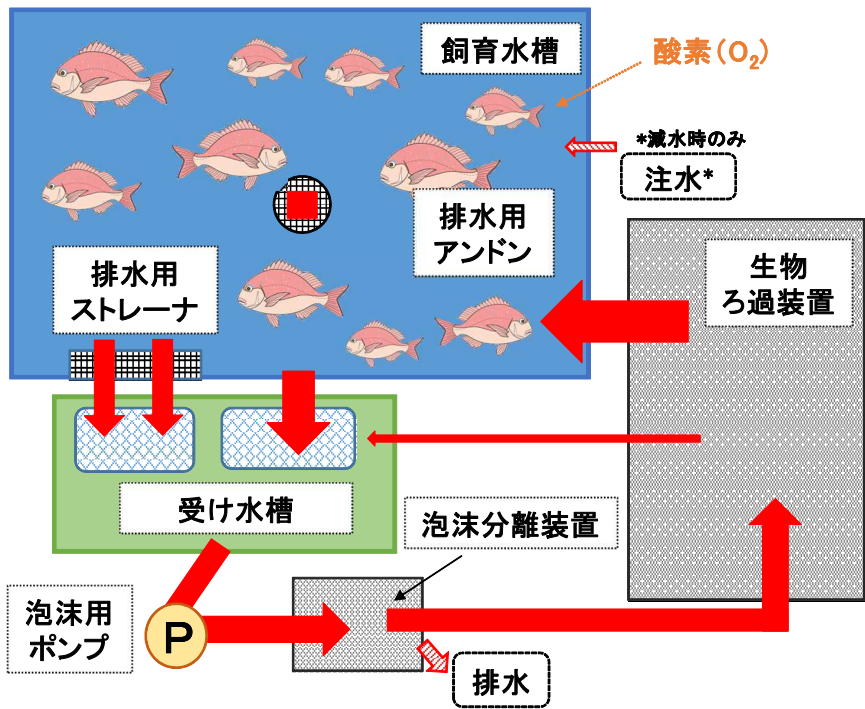


<生物ろ過水槽>



～失敗しないための留意点～ 国内の小規模養殖では、どのようなシステム？

簡易式システム



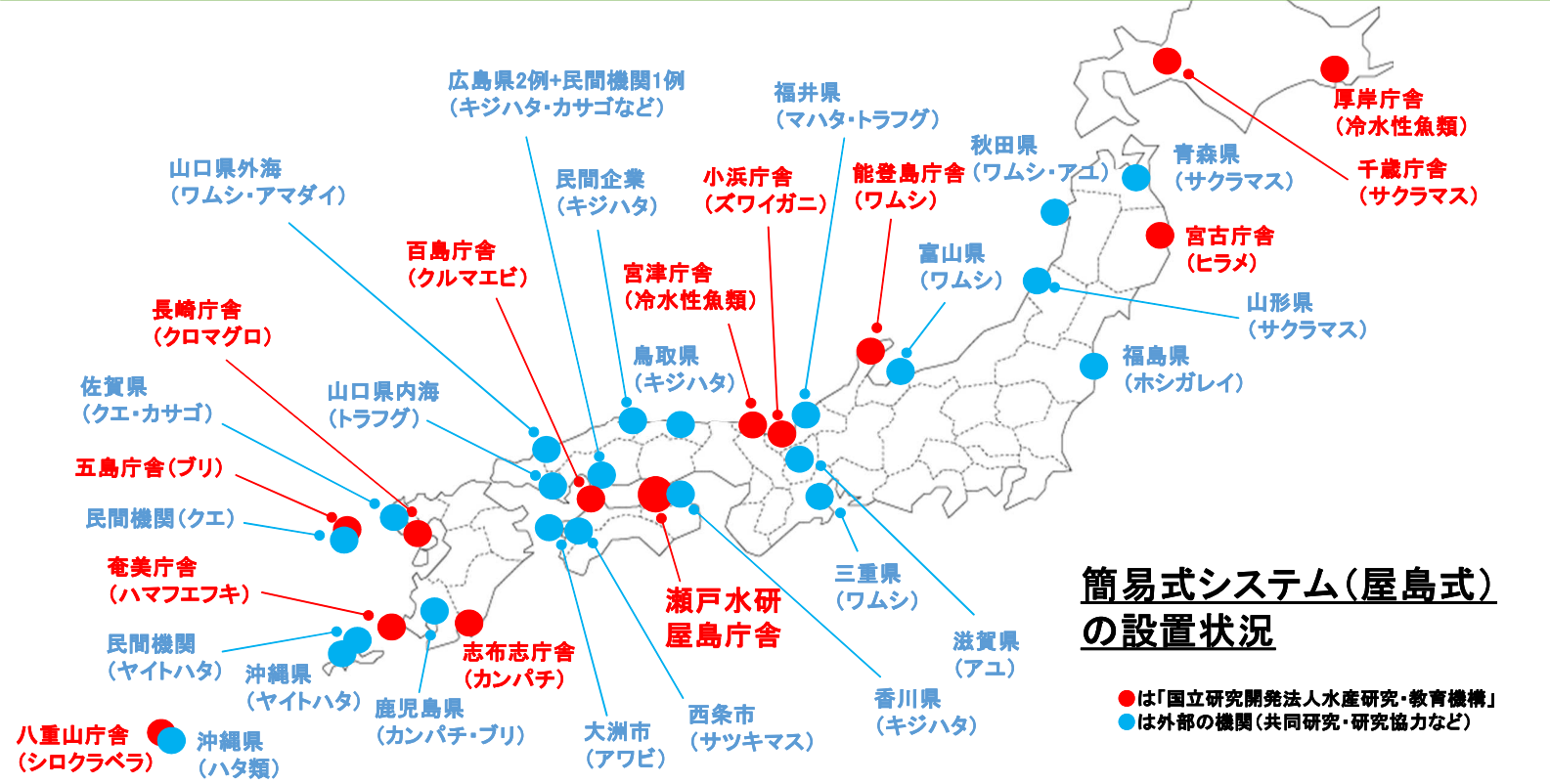
- ➡ 循環水の流れ(システム内の流れ)
- ➡ 注水または、排水
- 📦 荒ゴミを回収する袋状ネット

- 沈殿槽は屋島庁舎では原則設置していないが、設置する場合は、飼育水槽と受け水槽の間に設置
- 脱窒装置や紫外線殺菌装置を設置することもある

オプション的な機器

- 殺菌装置(疾病対策)
- 沈殿槽(ゴミの除去) ※ゴミ取りネットで代替
- 砂ろ過装置 ※ゴミ取りネットで代替
- 膜フィルター ※泡沫分離装置で代替
- 脱窒槽(硝酸の除去)
- pH調整器 ※ろ材をカキ殻にすることで代替
- 脱気装置(二酸化炭素の除去) ※泡沫で代替?
- 廃水処理施設 ※廃水量が少ないため不要

～失敗しないための留意点～ 屋島庁舎と共同研究等で実施してきた機関



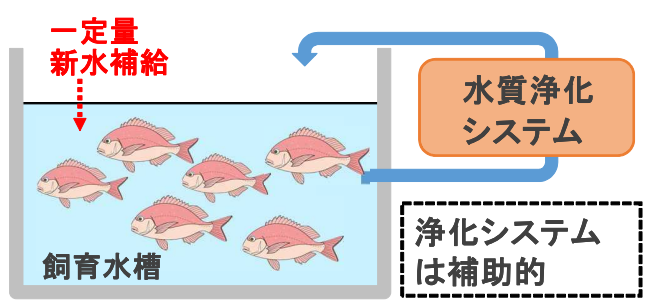
簡易式システム(屋島式)の設置状況

- は「国立研究開発法人水産研究・教育機構」
- は外部の機関(共同研究・研究協力など)

～失敗しないための留意点～ 3 閉鎖循環と半循環式養殖は、全く異なる

欧米では、半循環式が主体

循環式陸上養殖には、一定量の注水を行う「半循環式」と、減水分だけ補水する「閉鎖循環式」がある



項目	半循環式養殖	閉鎖循環式養殖
飼育レベル	○(容易)	△(やや難しい)
内陸域での養殖	×(困難)	○(可能)
病原菌や濁りの侵入リスク	△(やや低い)	○(極めて低い)
調温コスト	△(節約)	○(削減)
イニシャルコスト	△(比較的安価)	×(高い)

注1) ○, △, ×の区分は、講演者独自の判断
 注2) 状況に応じてメリット等は変化する
 注3) 半循環飼育は、水質や摂餌の低下が少ない

国内の主流は閉鎖循環式

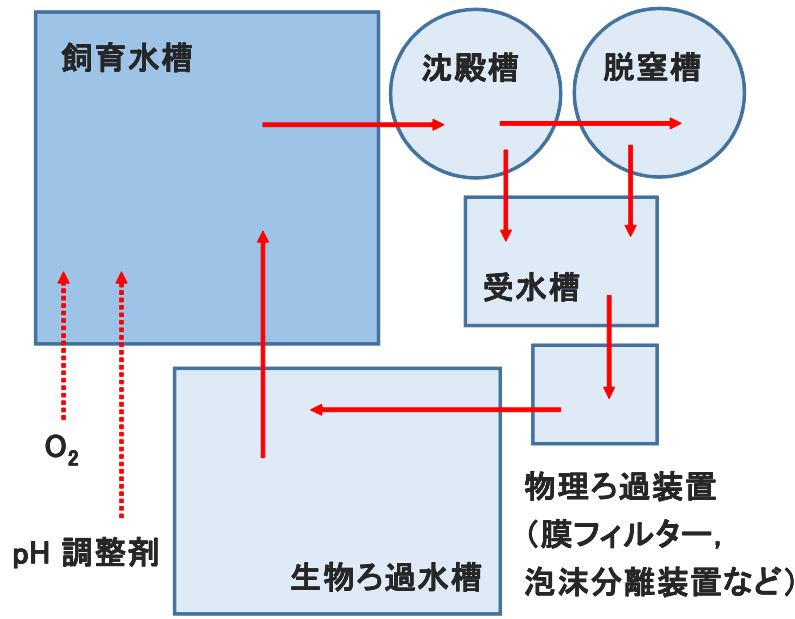
半循環式のシステムをそのまま採用したところ

- ろ材容量の不足(生物ろ過水槽の拡大は困難)
- 廃水が多く、用水の確保に経費がかかる

破綻の一因

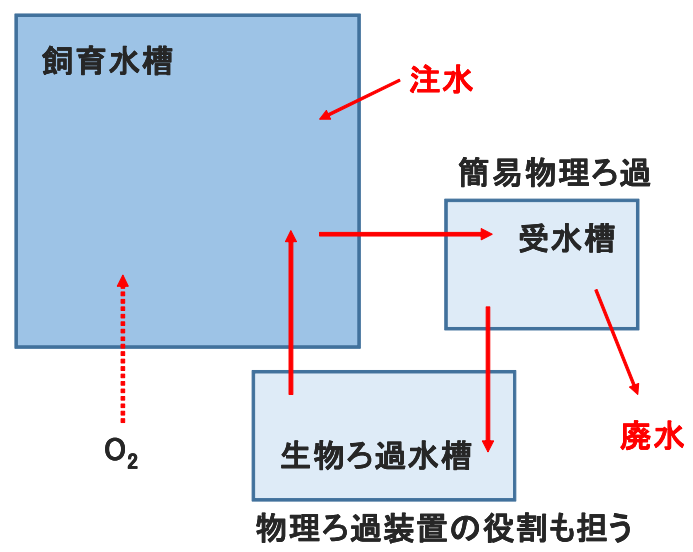
～失敗しないための留意点～ 3 閉鎖循環と半循環式養殖は、全く異なる

閉鎖循環式養殖の一般的なシステム

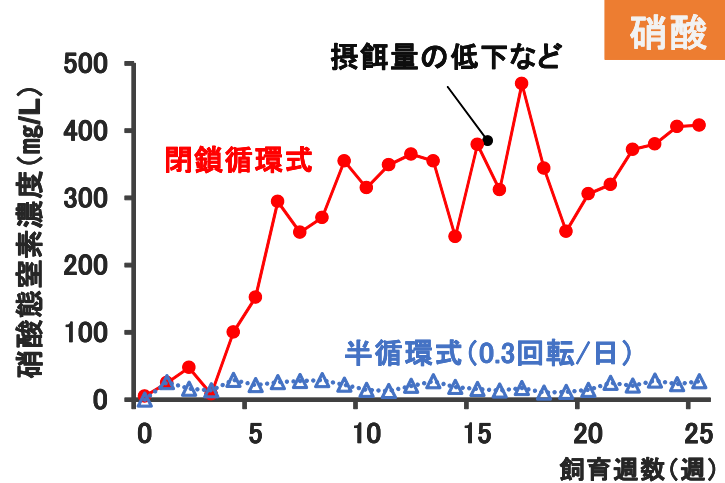
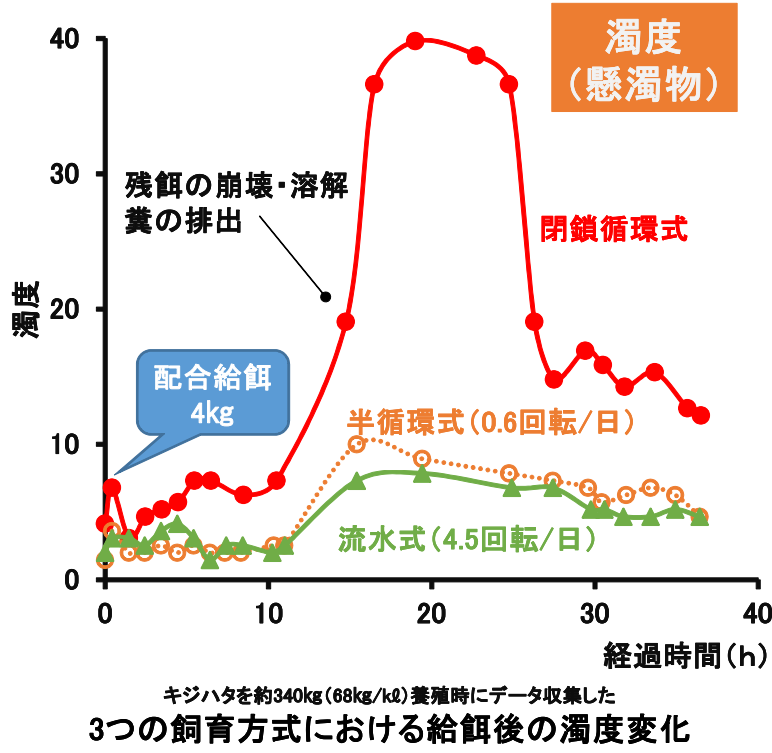


半循環式養殖の一般的なシステム

欧米のシステムはハイスペック



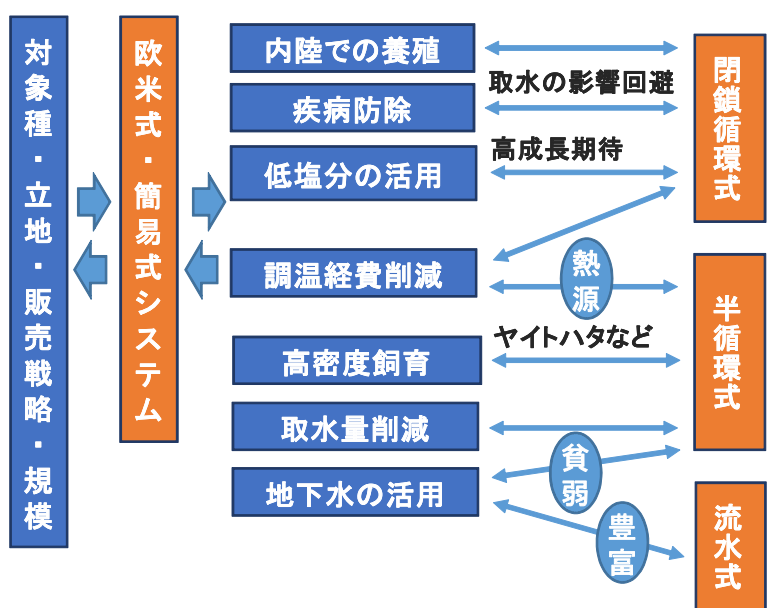
～失敗しないための留意点～ 3 閉鎖循環と半循環式養殖は、全く異なる



キジハタ養殖における硝酸態窒素の推移

- 半循環式の水質は、流水式レベル
- 半循環式と閉鎖循環式は別物として考える

～失敗しないための留意点～



文献収集や技術の輸入により養殖

＜視察・相談＞
軌道に乗らない

落とし穴にはまっていることが多い

- 浸透地下水が出る
- 排熱が利用できる
→ 半循環式や流水式も選択肢となる
- 疾病の多い海域である
- 内陸域の土地しか確保できない
→ 閉鎖循環式が大前提になる
- 淡水 or 海水, 大規模養殖 or 小規模養殖

システムのコピペは危険。目的や環境に応じて、手法は柔軟に選択。
 <どこが最優先項目なのか(魚種?, 立地?, 排熱利用?...)によって、システムやメリット活用法が違ってくる>

循環式陸上養殖の拡大に向けた課題

① 経費削減

- 施設建設費削減(テント生地の施設やキャンバス水槽)
- 機器のコストダウン(欧米並みの価格設定)
- 酸素代の削減(溶解装置の低価格化)
- 電気代の削減(低電力高揚水ポンプの開発, システム改良)
- 全館空調導入による調温経費削減(閉鎖循環式では施設ごと空調)
- 人件費削減(給餌作業などにIoTやAI技術の導入, 養殖規模の大型化)

② 人材確保

- 水産高校・大学への広報(海面養殖との労働環境の違いをもっとアピール)
- 余剰人材確保(日常は, 専門性やハードな作業不要:退職者や女性の活用)
- 水産分野の退職者をうまく活用(管理部門には, 専門家が不可欠)
- 限られた人材を有効に活用(IoTの活用)

海面養殖のイメージでは, 人は集まらない。工場であることをアピール!



③ 塩害対策

- 塩害や電蝕に強い施設や機器の導入

④ 種苗確保

循環式陸上養殖の拡大に向けた課題(種苗の確保)

キジハタの循環式陸上養殖の事例

循環飼育の導入で新規養殖対象種となった

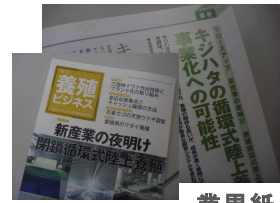
- 疾病防除が可能
- 高成長(適水温維持, 低塩分活用)
- 高密度飼育が可能



市民向けフォーラム



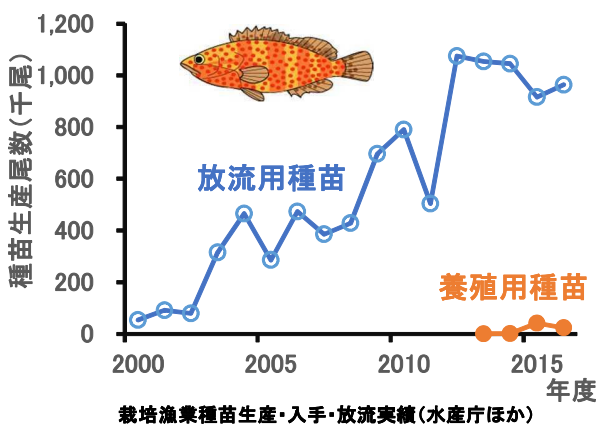
学会主催の一般向けシンポ



業界紙への投稿

キジハタを養殖したいという問い合わせ増加

国(53千尾) 都道府県(804千尾) その他(126千尾) 2017年度実績



栽培漁業種苗生産・入手・放流実績(水産庁ほか)

キジハタの種苗生産実績

サーモン*でも問題提起

多くの魚種で
・種苗不足
・ミスマッチ

*小堀彰彦(2019)国内の種苗生産規模と海面サーモン用種苗の供給課題, よくわかるジャパンサーモン養殖, 緑書房

国内外の情勢

- 世界的には水産物の需要は増大(半世紀で約5倍)→ 今後も増大すると予想
- 漁獲漁業や海面養殖の増大は期待薄 → 陸上養殖, 特に立地を選ばない「循環式」に期待
- 技術を先進的な欧米から輸入して, 循環式陸上養殖施設が増加

技術の輸入・知見の収集

落とし穴

- 海水魚では錆や電蝕の影響大
- 小規模養殖場にとっては, 欧米式はコスト高
- 閉鎖循環式と半循環式の違いが理解されていない

課題

- 経費削減
- 人材確保
- 塩害対策
- 種苗確保

循環飼育の理解と柔軟な対応

循環式陸上養殖の着実な拡大

ご清聴ありがとうございました



図表等については、多くの方の協力を頂きました。お礼申し上げます。

- 飼育実験全般・図, 写真等の提供・協力
山本義久, 手塚信弘, 今井正, 吉浦康寿, 片山貴士, 今井智, 小金隆之, 関谷幸雄, 津崎龍雄ほか,
水産研究・教育機構豊島庁舎(旧所属を含む)の皆様
- 共同研究等を実施した多くの機関の皆様
- 挿絵提供
藍原章子(水産研究・教育機構)

(敬称略)