

シンポジウム「持続可能な次世代養殖システムの開発～サバを中心に～」

サバ養殖に向けた養殖システムの検討

令和3年8月3日 13:30～17:30 @オンライン

東京大学生産技術研究所 北澤 大輔

本日の内容

今後の養殖に求められること

- 養殖の場と環境の持続可能性：SDGs（14. 海の豊かさを守ろう – 14.1 2025年までに、海洋ごみや富栄養化を含む、特に陸上活動による汚染など、あらゆる種類の海洋汚染を防止し、大幅に削減する）
- 最新技術の導入：Society 5.0（サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する、人間中心の社会）
- 再生可能エネルギーの利用：カーボンニュートラル（何かを生産したり、一連の人為的活動を行った際に、排出される二酸化炭素と吸収される二酸化炭素が同じ量である）

サバ養殖の発展に向けて、どのような養殖システムが適しているか？

生簀養殖の歴史

1928年 野網和三郎氏

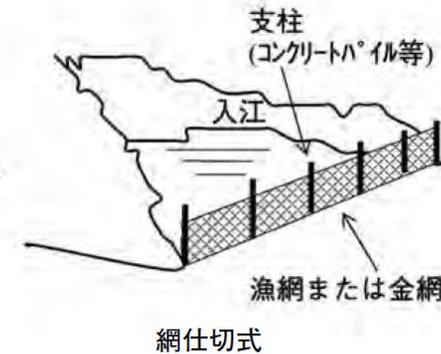
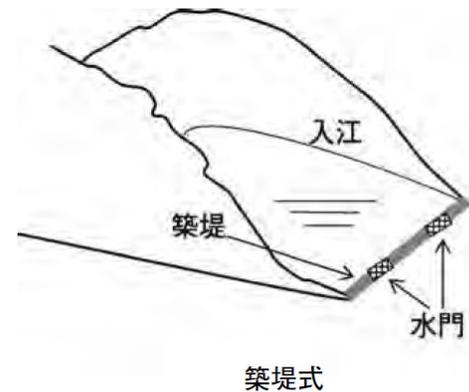
香川県東かがわ市安戸池
築堤式養殖場としてブリの幼魚を放養



出典：<http://www.kahiketagyokyo.jf-net.ne.jp/yousyoku/yousyokurekisi/index.html>

1954年 原田輝雄氏

和歌山県白浜町近大白浜臨海研究所
網生簀養殖試験



⇒ 世界の生簀養殖のベース

出典：宮下(2008)

様々な生簀



沿岸養殖技術（ノルウェー）



サーモン孵化場



死魚回収ネット



制御



バージ船



バージ船



タラ



給餌機（エア）



給餌ホース



生簀群



自動給餌機



ハリバット



給餌サイロ



給餌方法

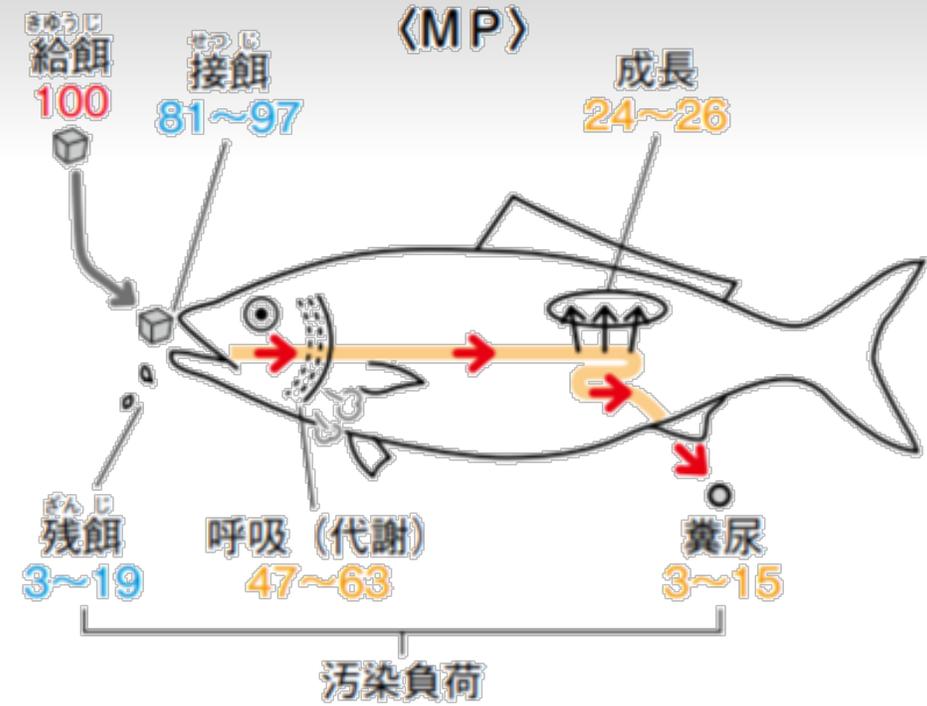
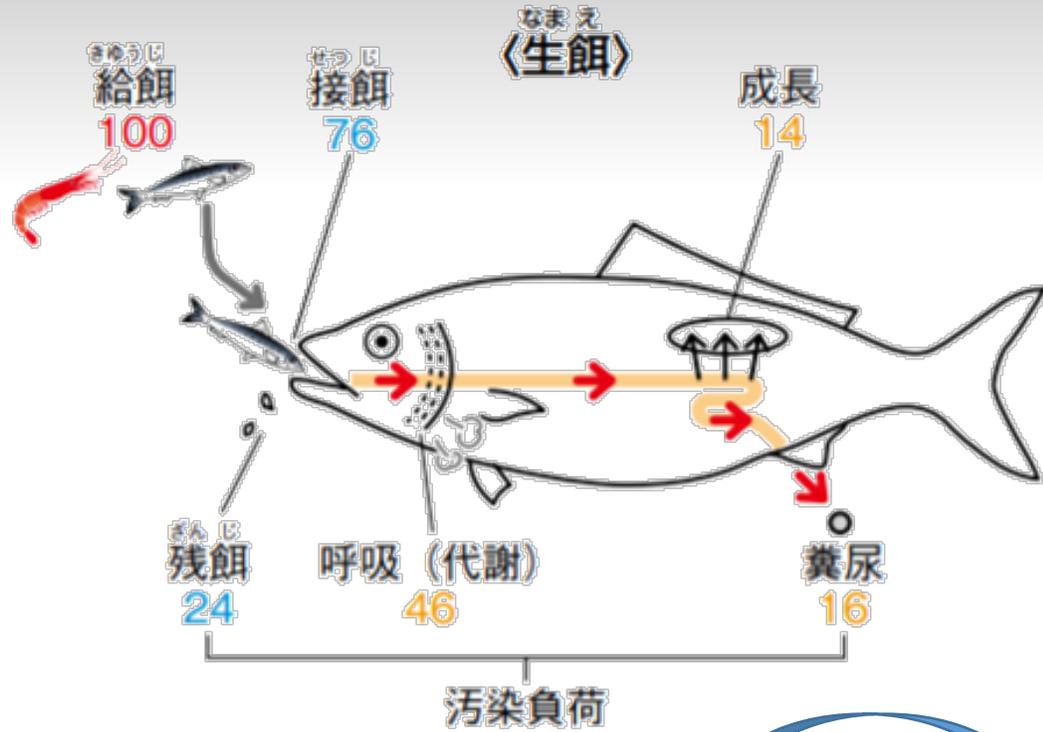


給餌機



餌の保存タンク

魚のエネルギーフロー



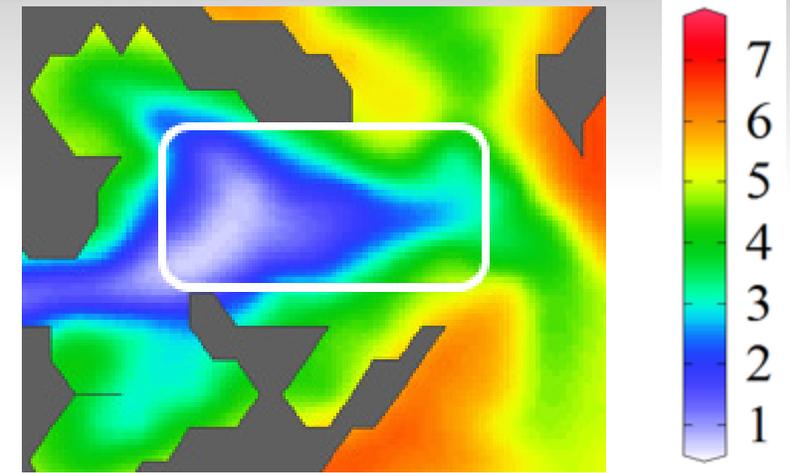
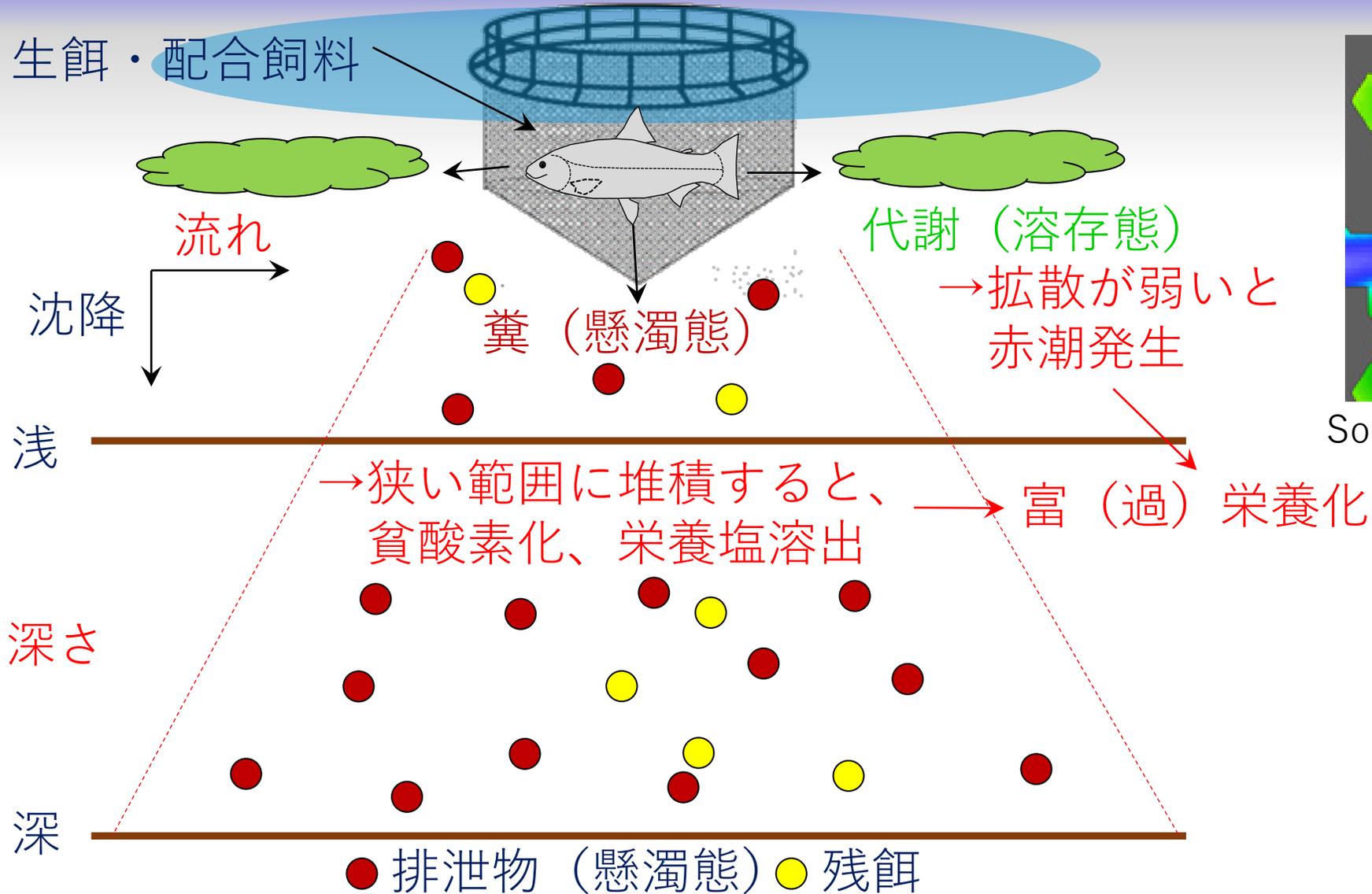
出典：給餌された餌の行方・水産白書(2013)

増肉係数 (FCR) = 1.5

$$\begin{array}{ccc}
 \text{餌} & & \\
 \circlearrowleft & & \\
 1.5 & \xrightarrow{\text{水分15\%}} & 1.275 \\
 \text{成長} & & \\
 \circlearrowright & & \\
 1 & \xrightarrow{\text{水分75\%}} & 0.25
 \end{array}$$

≒ 5 → 乾重量で餌の20%が成長分

排泄物の拡散と環境



Source: Zhang and Kitazawa (2016)



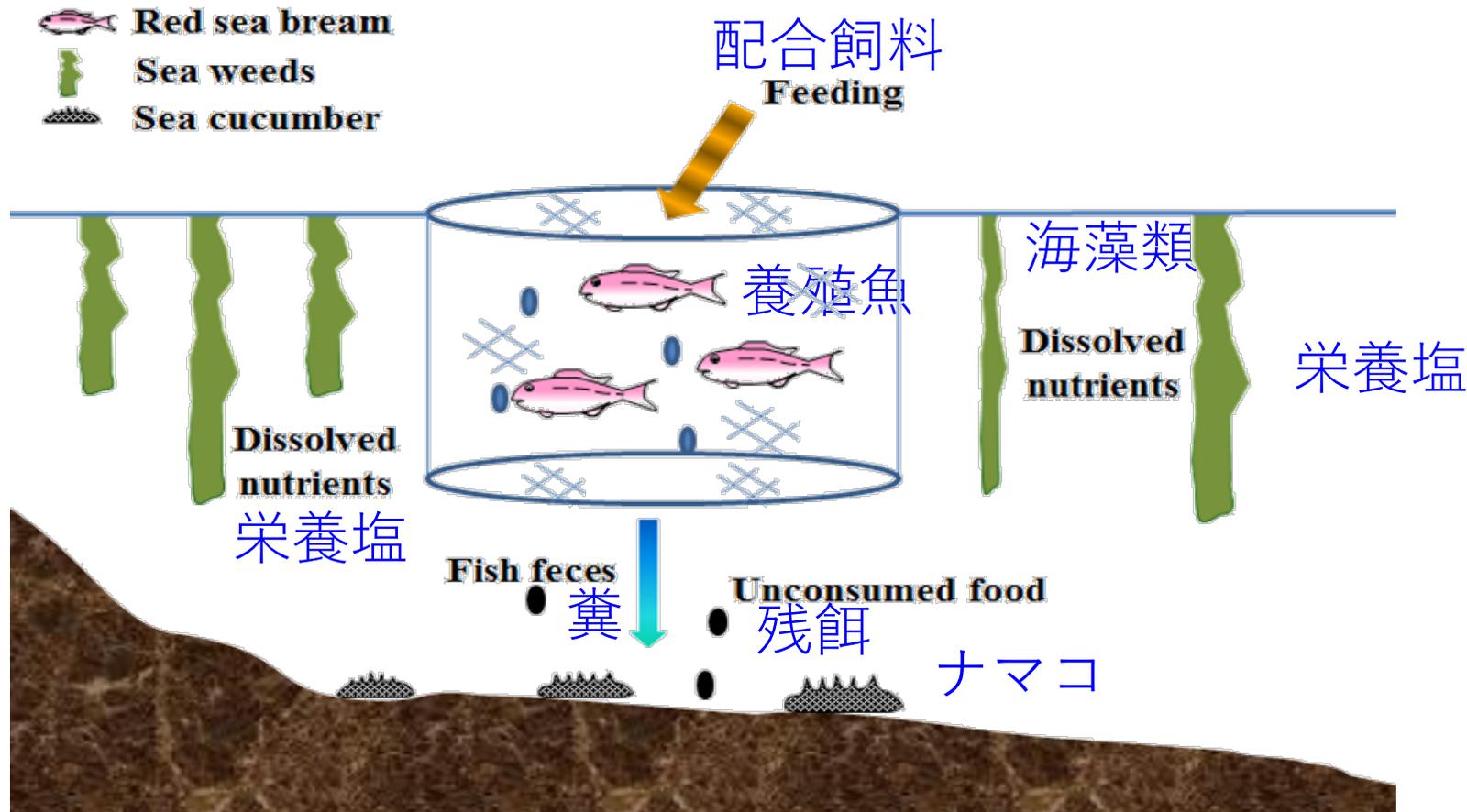
Source: Yokoyama et al. (2006)

複合養殖の可能性

複合養殖 (IMTA: Integrated Multi-Trophic Aquaculture)
養殖魚の排泄物をカスケード利用

来代・門脇 (2003)

横山 (2013)



利点

- 残餌・排泄物をリサイクルでき生産性向上
- 環境保全につながるなど

欠点

- 付加的な作業が増える (システム化が必要)
- 流速の低下など

出典: Zhang et al. (2016)

陸上養殖の可能性

- 池養殖

河川水等を利用

- かけ流し式陸上養殖

天然の海水を継続的に引き込み

- 閉鎖循環式陸上養殖

飼育水を循環させながら使用

生簀養殖に比べれば排泄物の排出経路は
明確

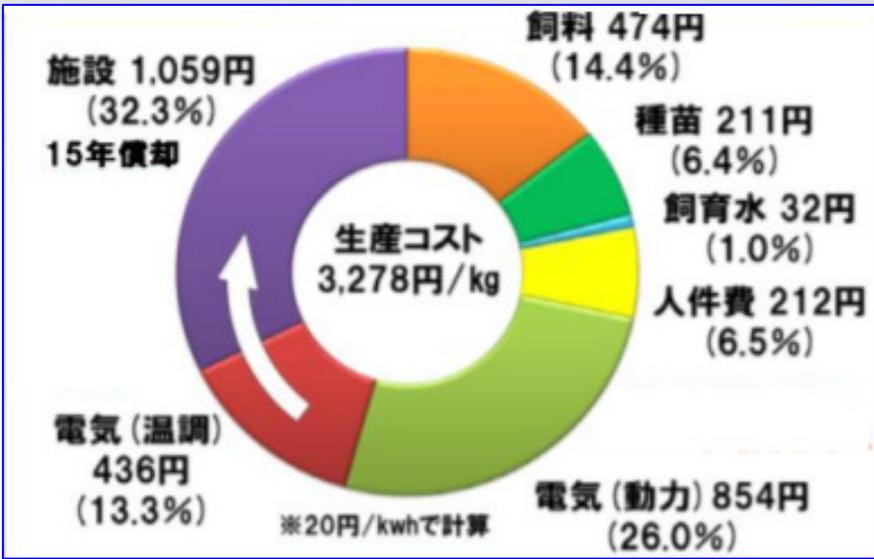
➡ 排泄物もコントロール可能

陸上養殖の利点

- 排泄物のトレース、アクアポニックス（養殖と水耕栽培の組み合わせ）が可能で、環境保全につながられる
- 養殖環境を制御することができる（水温、水質、光環境など） など

排泄物処理や温度調整に必要なエネルギー、設備投資は必要

エネルギーと設備



トラフグの陸上養殖コスト

出典：水産庁（2013）

排泄物の処理に関しては、掛け流し式として一定レベルの排泄物の排出許容するか、アクアポニックス等生物を用いてより積極的に回収する

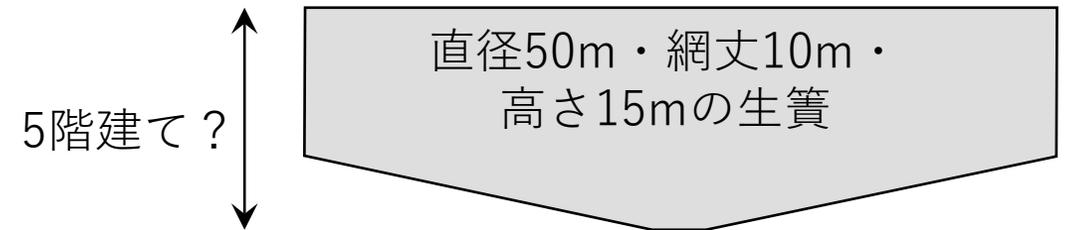
電気代が合計1,290円 → 64.5 kWh 20円/kWhと仮定
仮に年間100トン生産する場合、6,450 MWhが必要

※定格容量2MWの風車

$2(\text{MW}) \times 24(\text{h}) \times 365(\text{day}) \times 0.3$ （設備利用率）=5,256 MWh

エネルギーコストをかけずに養殖魚種に適した水温の海水を得る（地下水、深層水など）

設備のスケールアップ



海上での（半）閉鎖循環式養殖

半閉鎖循環式養殖：The Egg

- 作業員の環境安全
- 寄生虫の少ない深層水
- 内部の流れと環境
- 高精度な給餌
- 残餌や糞の再利用
- 逃亡防止
- 捕食防止

光環境、溶存酸素濃度等水質を24時間体制で管理できる。配合飼料や糞は内部でなるべく消費、あるいは分解されると思われるが、溶存態の排泄物は排出される

閉鎖循環式養殖：ECO-ARK® FARM

- 2名で年間166トン生産の予定
- 海水を機械的ろ過、オゾン処理して使用、排泄物も排水前に処理
- 自動化技術（水槽の清掃、魚の選択・収穫、尾数計測、水温と溶存酸素濃度の管理）
- オンサイトで酸素生成、ソーラーパネルを使用
- スズキ、マダイ、ムール貝などを開放式の約4倍の密度で飼育

出典：ACE FARM HP (<http://www.ace-sg.com/acefarm/>)

出典：HAUGE AQUA HP (<https://haugeaqua.com/technology>)

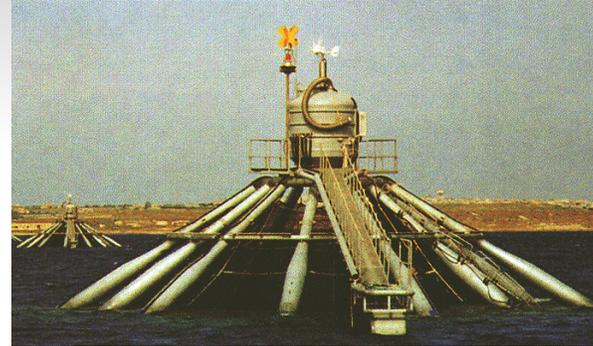
沖合養殖

利点 (期待)

- 水質が良くて汚染が少なく、安定している
- 最適な海域を選択しやすい
- 他の海域利用者との競争が少ない
- 魚病、付着生物等の減少が見込める
- 早い成長とFCRの向上が見込める

欠点

- オペレーション&メンテナンスの環境が厳しい
- 加工、市場、輸送などのインフラまでの距離が遠い
- 強い風、速い流れ、高い波浪に対応するために設備費がかかる



Sveälv (1988)

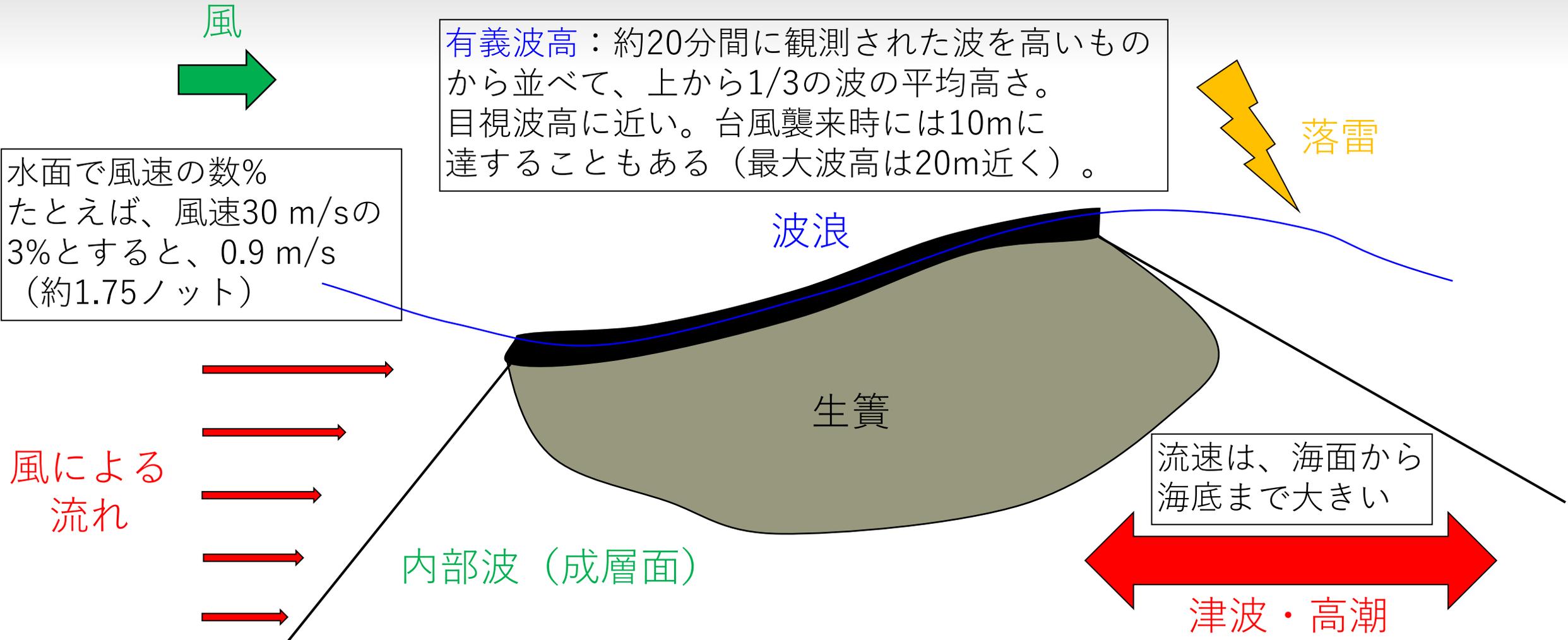
- ・ ニジマスの沿岸養殖、沖合養殖比較
- ・ スリムな体型で品質向上
- ・ 低い死亡率

Welch et al. (2019)

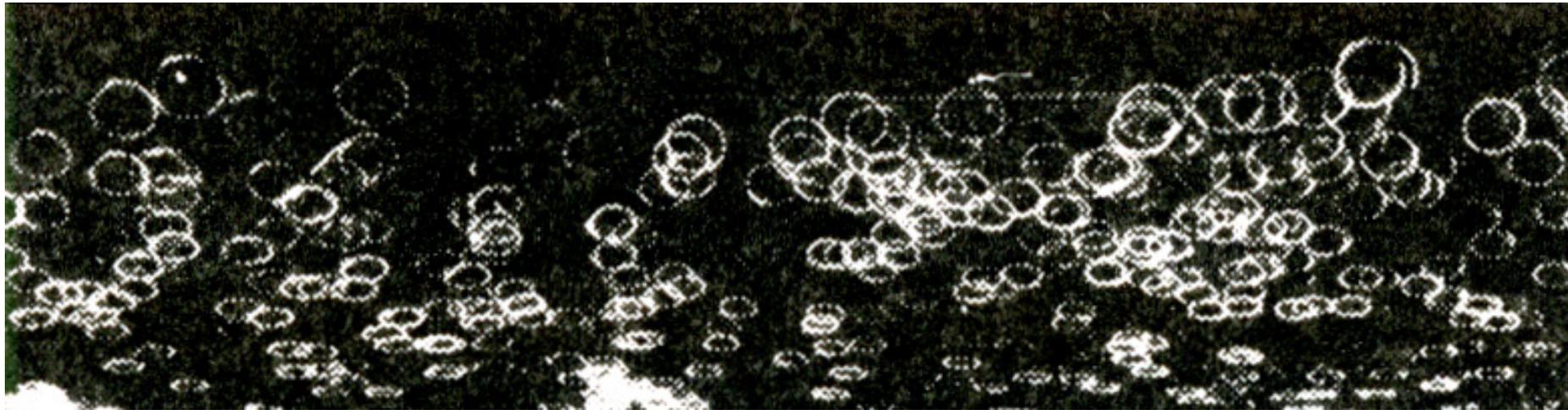
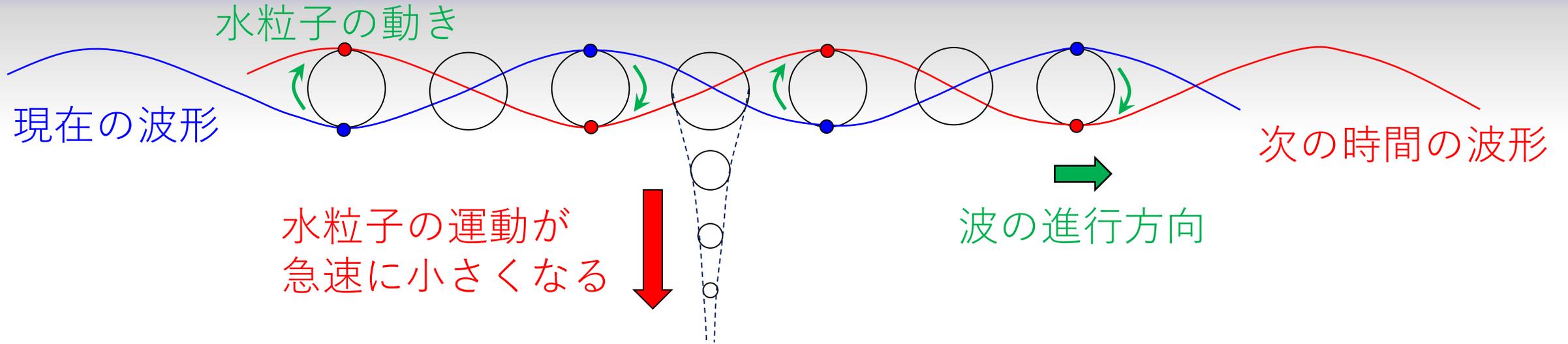
- ・ コビアの沖合養殖 (13km、55-65m)
- ・ SeaStation 22 基 (2017時点)
- ・ 水質変化なし、底質は局所的に変化あり

沖合養殖における構造物への外力

厳しい環境における構造物とオペレーション・メンテナンスの安全性



波の性質

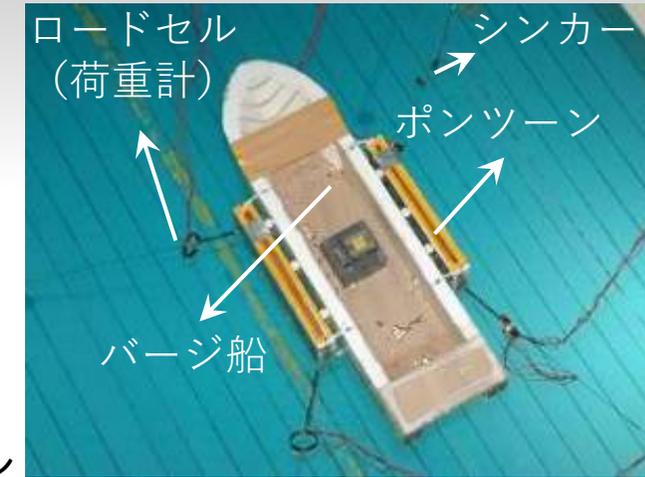
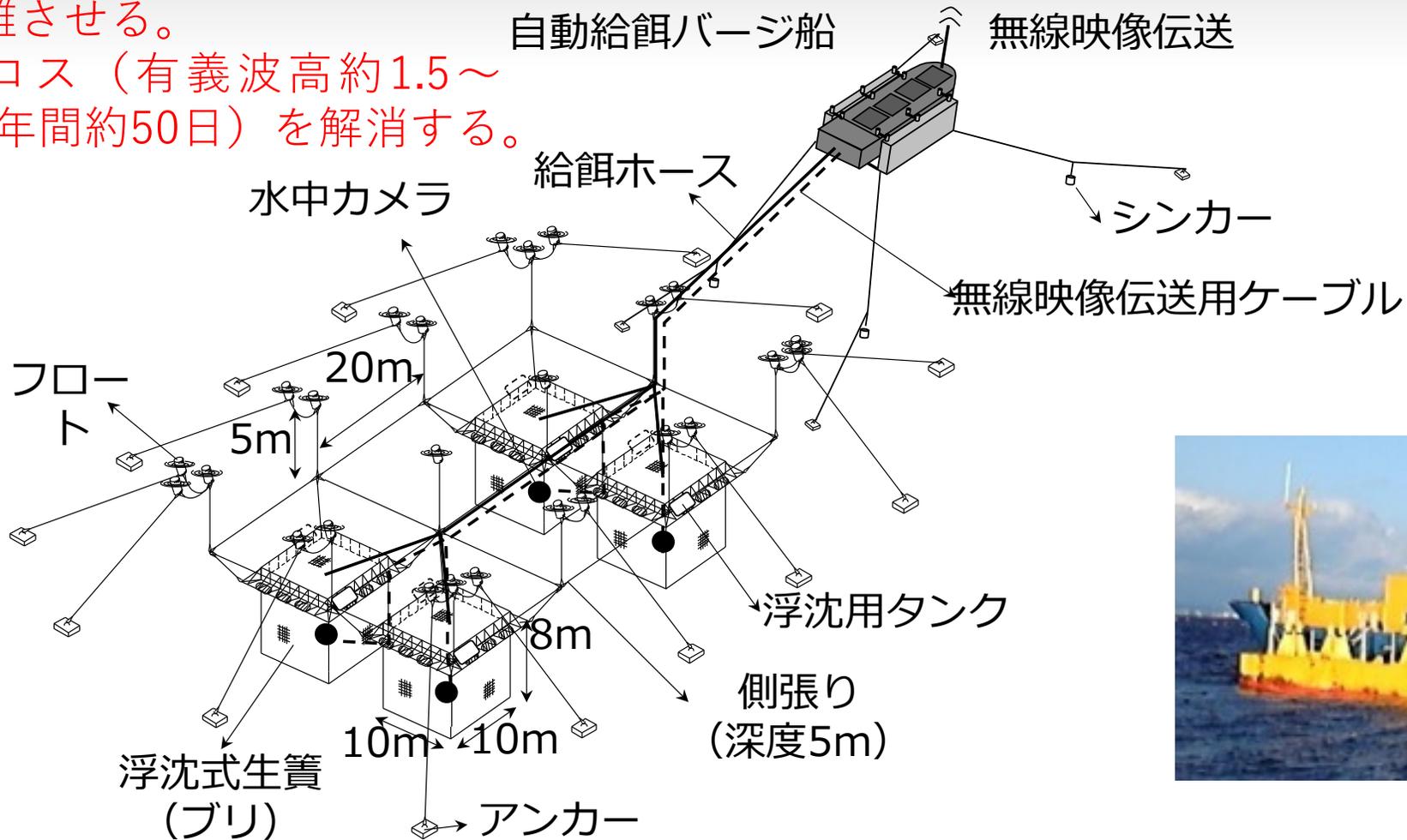


生簀を沈下させると波からの流体力を減らすことができる

Ruellan & Wallet (1950)

荒天対応プラットフォーム

- 台風襲来等による荒天時は、ポンツーンを残してバース船を避難させる。
- 給餌ロス（有義波高約1.5～4m、年間約50日）を解消する。



まとめ

- 養殖の場と環境の持続可能性：SDGs

沿岸養殖・沿岸（半）閉鎖循環式養殖：排泄物の制御は困難、複合養殖等の工夫

陸上養殖：排泄物を管理可能、アクアポニックス等の工夫

沖合養殖：環境への負荷は分散

- 最新技術の導入：Society 5.0

陸上養殖：管理型養殖システムの構築が可能。水平展開が可能。

沿岸養殖・沖合養殖：特に沖合養殖では、自動化技術、プラットフォーム技術の開発が不可欠。生簀への付加機能。

- 再生可能エネルギーの利用：カーボンニュートラル

沖合養殖では利用できるエネルギーの密度が高い

サバ養殖に対しては、寄生虫防止の観点からは、陸上養殖や沿岸（半）閉鎖循環式養殖が有望？