

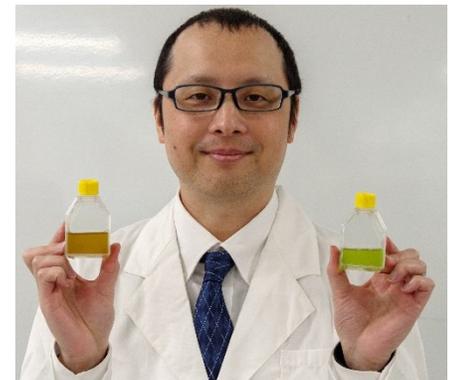
2025年3月19日

第2回田子の浦港港湾脱炭素化推進協議会

「田子の浦港」の浄化： 藻類微生物複合系による環境にやさしい 廃水処理システムの開発

長尾 遼

(静岡大学農学部応用生命科学科 准教授)



「田子の浦港」の現状と課題



- 周辺が工場地帯
- 処理された廃水が田子の浦港に流れる
- 湾内にへドロが溜まる
- へドロは河川から流れてくる浮遊物質による

「田子の浦港」の問題点



白色の浮遊物質

体積するヘドロ



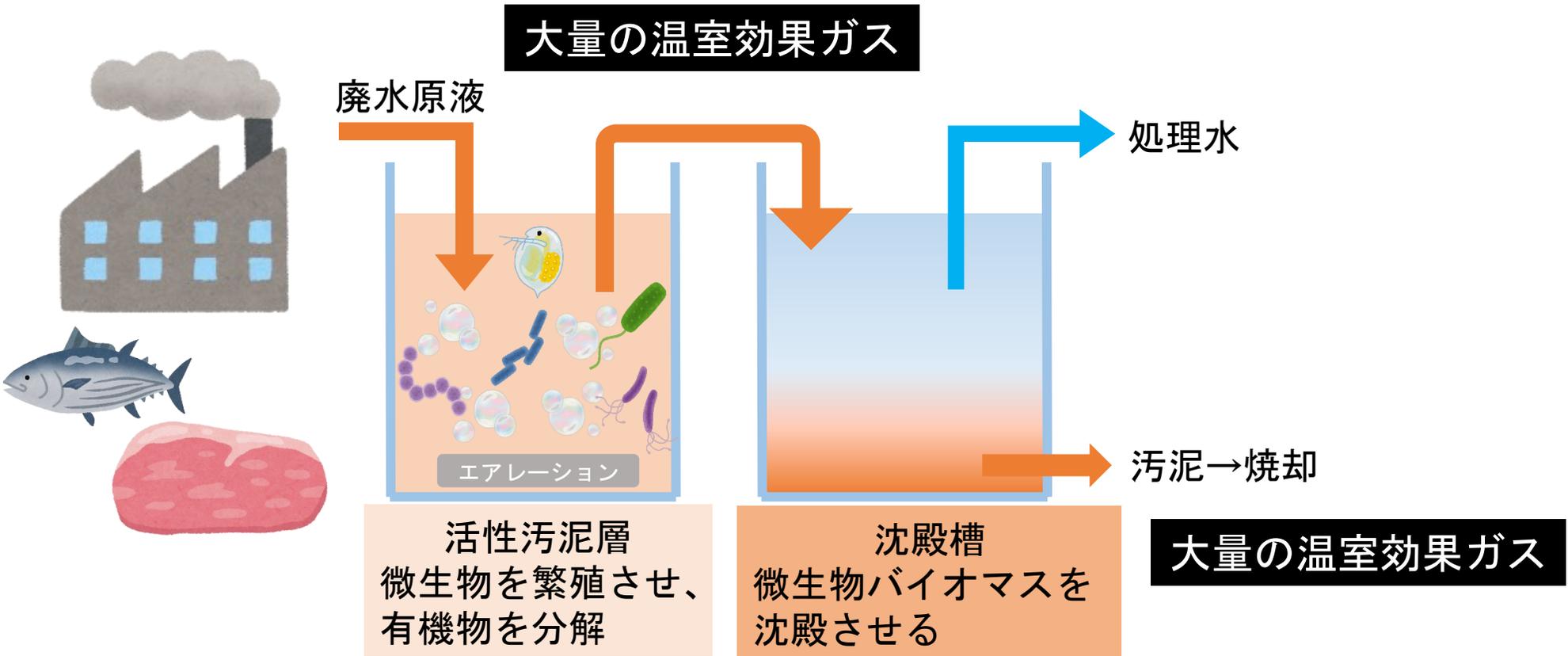
長尾研究室の研究内容

「白色の浮遊物質」と「ヘドロ」を資源にして藻類バイオマスを生産

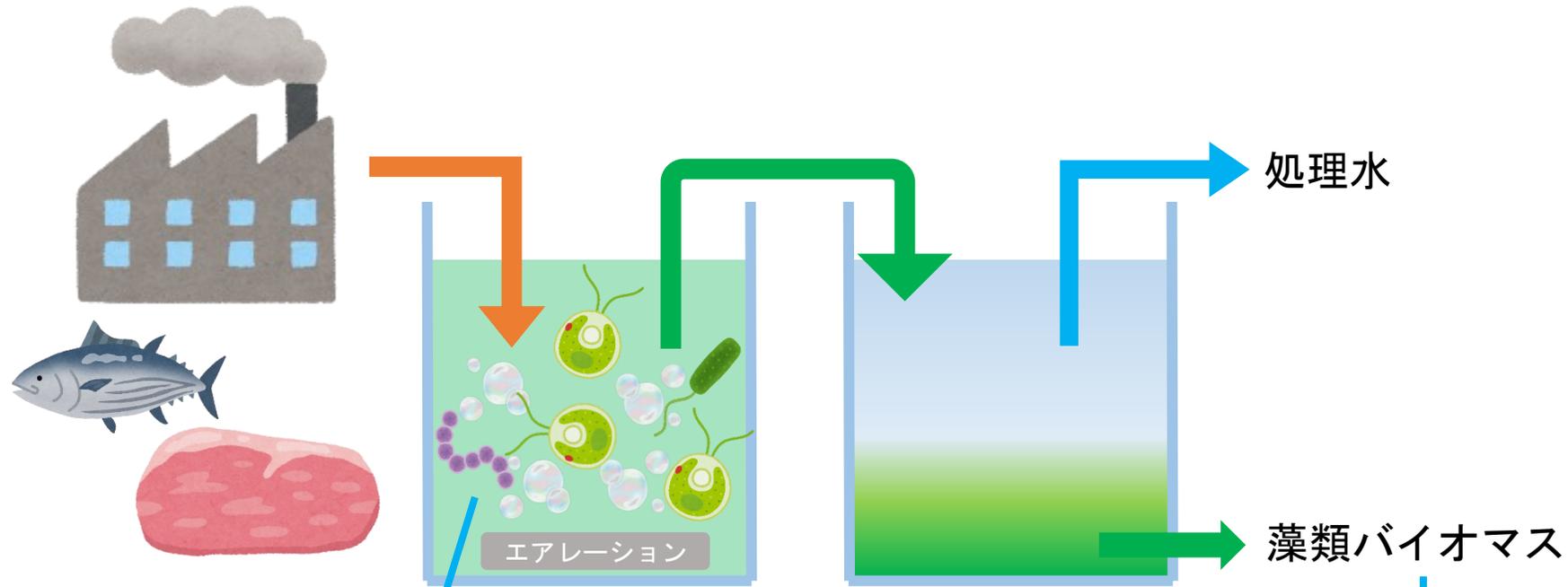


1. 長尾研究室の研究事例
2. 田子の浦港の研究

廃水処理の課題：高コスト、大量の温室効果ガス



廃水処理における藻類の貢献



藻類の光合成により二酸化炭素放出量を低減

藻類バイオマスは資源として利用

藻類バイオマスの販売により、廃水処理コストの一部を回収可

藻類を利用する廃水処理の課題

いずれも下水の一次処理水を利用



山形県鶴岡市
藻類を育てて、アユのエサにしている

<https://www.asahi.com/sdgs/article/14713359>

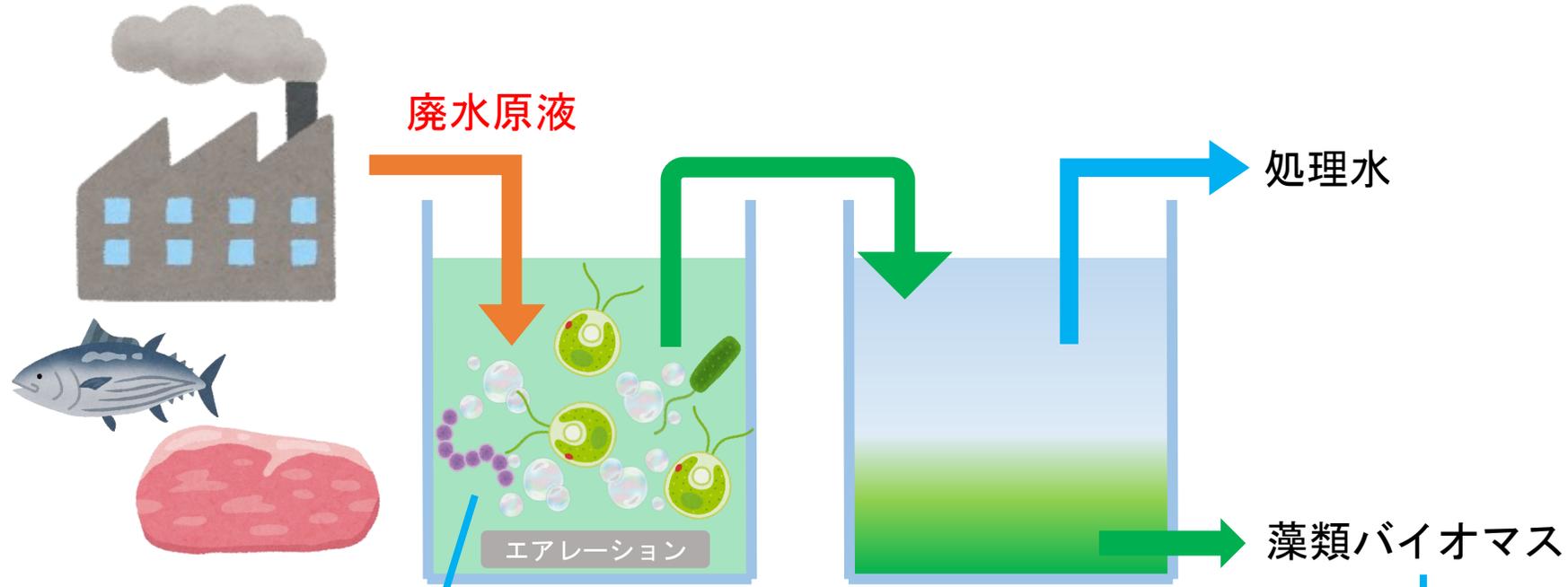


海外
HRAPと呼ばれる藻類を利用した廃水処理法

<https://www.pavitr.net/index.php/pages/wr/high-rate-algal-ponds>

- 藻類を利用した廃水処理において実用化されているものは、**廃水の一次処理水**などに限定される
- **廃水原液**を利用する藻類微生物複合培養系を開発する

廃水処理における藻類の貢献



藻類の光合成により二酸化炭素放出量を低減

藻類バイオマスは資源として利用

複合系である理由

- 藻類は大きな有機物を消費できない
- 微生物が有機物を消費し、分解物であるアミノ酸やイオンを藻類が取り込んでいる

研究例：廃水処理能力の評価



培養1日目



培養3日目



培養5日目

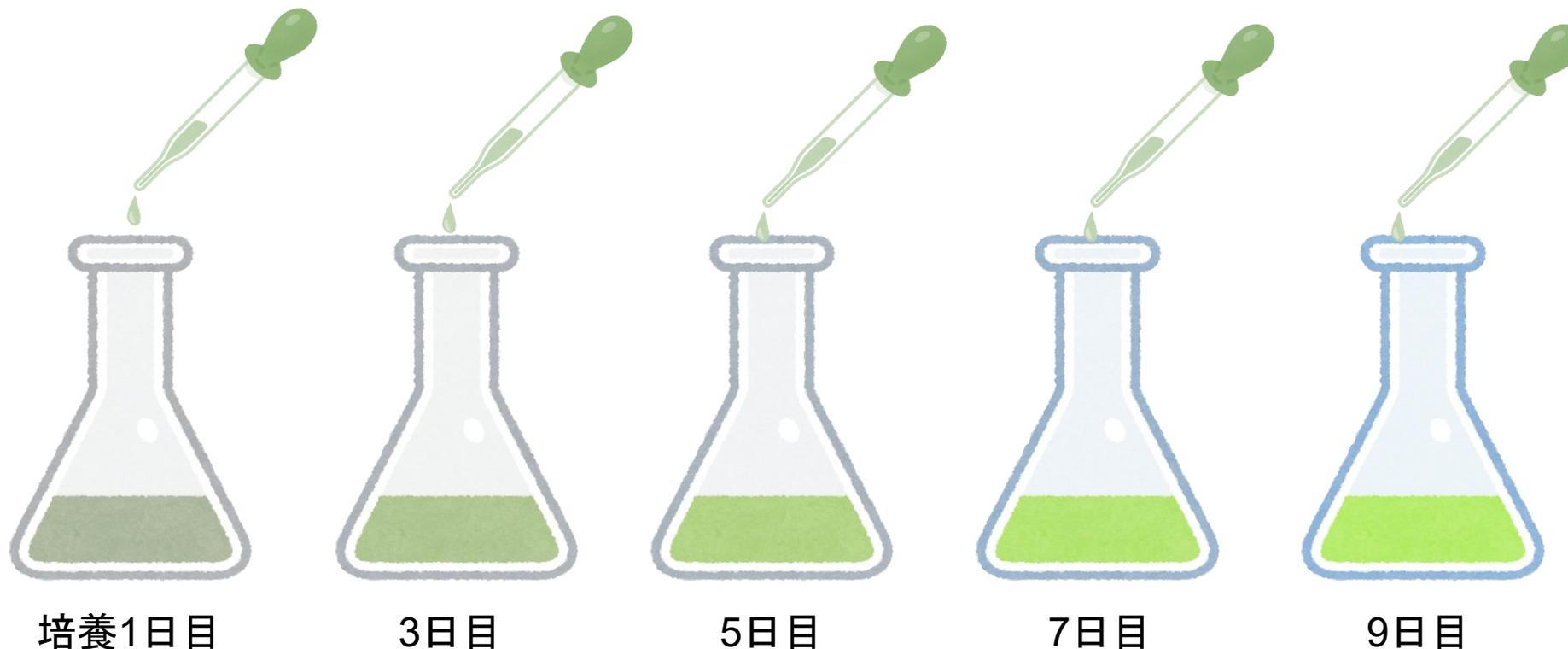


培養7日目



培養9日目

廃水処理能力の評価

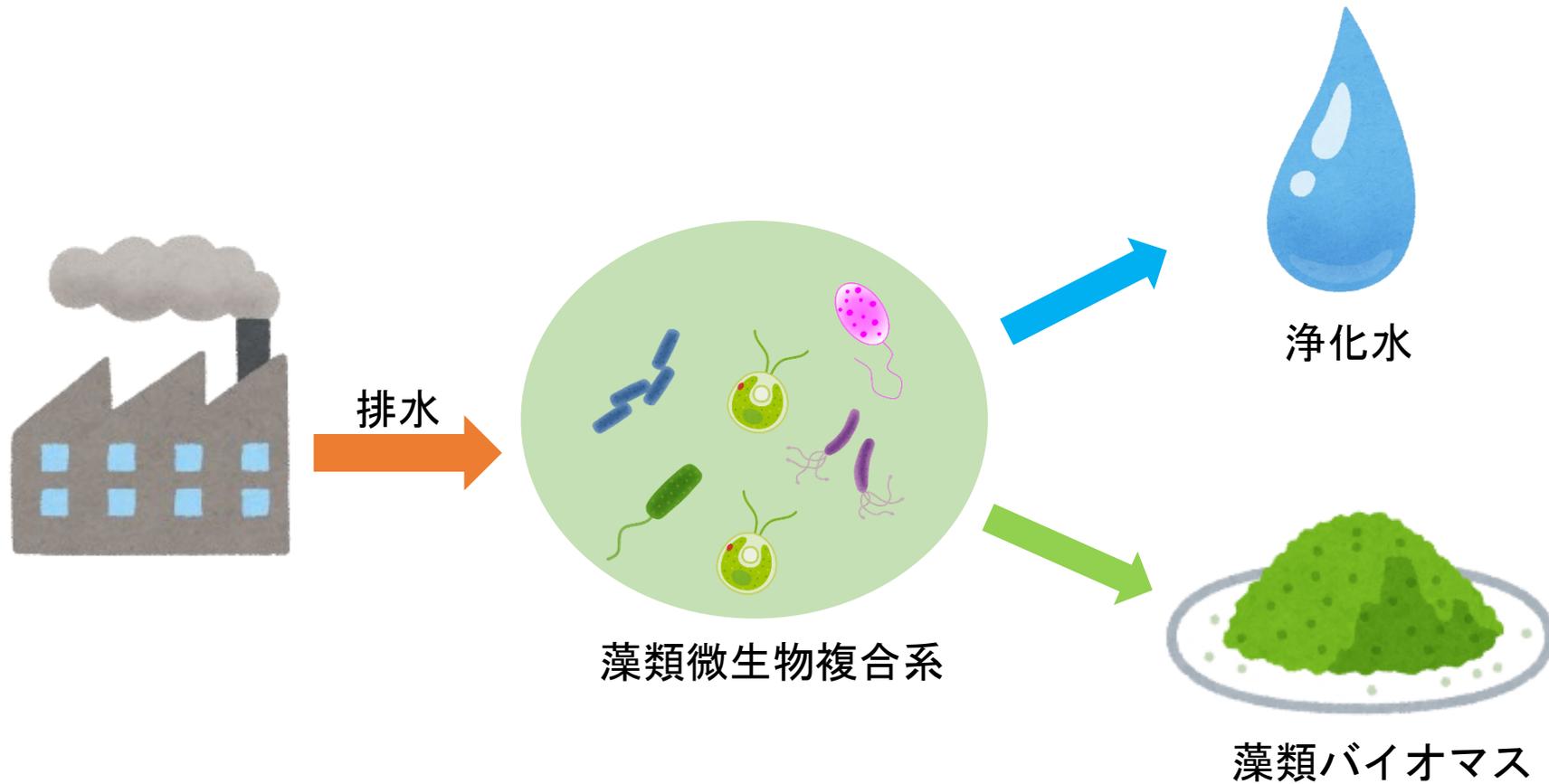


調べたこと	わかること	測定方法
クロロフィル濃度	藻類の濃度	紫外可視吸収スペクトル
DOC	溶存有機物量	DOC測定器
各種イオン濃度	各種イオン濃度	イオンクロマトグラフィー

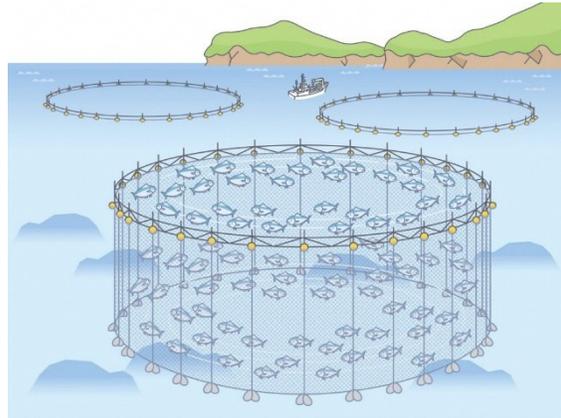
複合系による廃水処理

- 廃水原液を利用した藻類微生物複合系の増殖に成功した
- 微生物組成、藻類の増殖、廃水処理能力を明らかにした

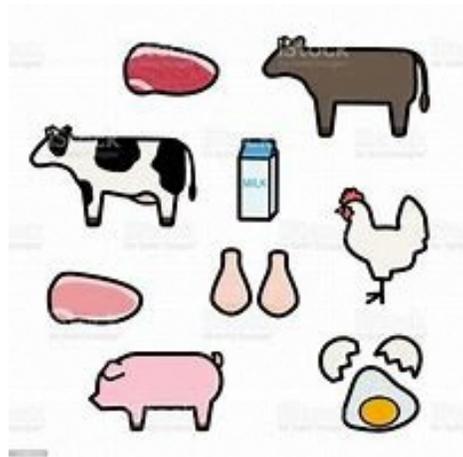
藻類バイオマスの利用方法



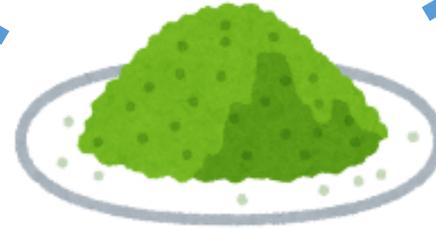
水質浄化および藻類バイオマス増産の確認後



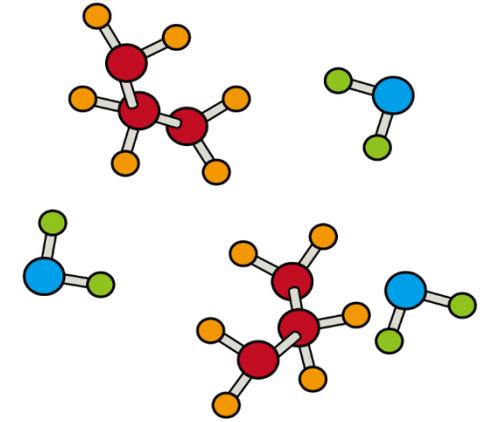
魚介類の飼料



家畜の飼料



藻類バイオマス

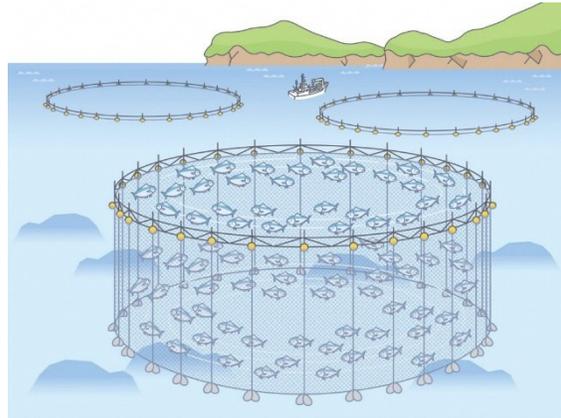


有価物の探索

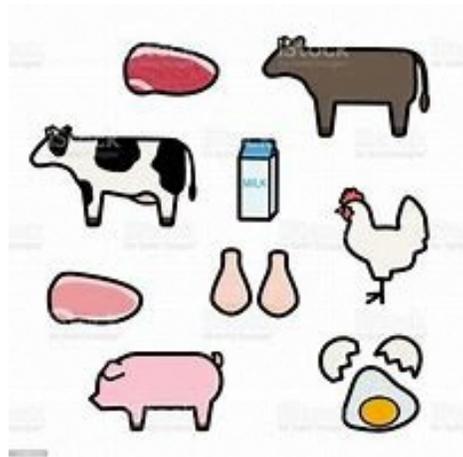


創薬

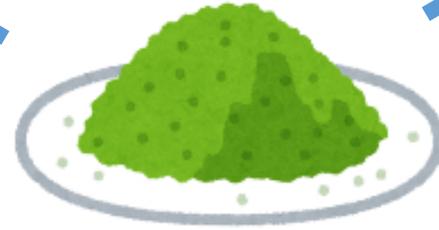
水質浄化および藻類バイオマス増産の確認後



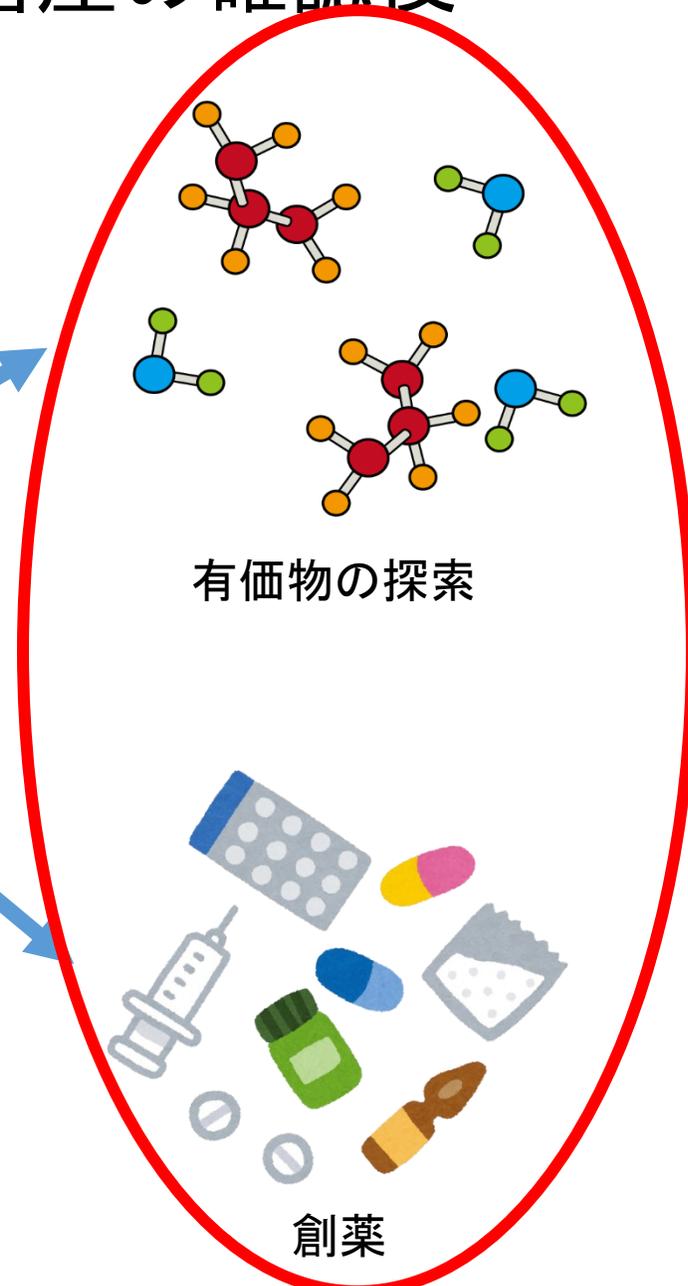
魚介類の飼料



家畜の飼料



藻類バイオマス

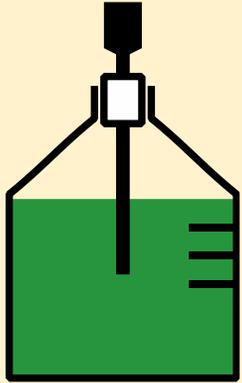


有価物の探索

創薬

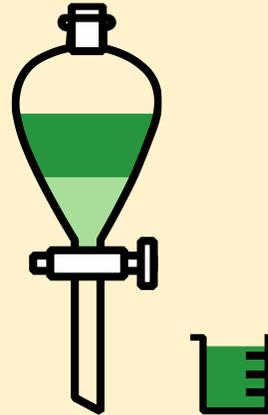
天然物化学への挑戦：技術習得 / 練習

①培養



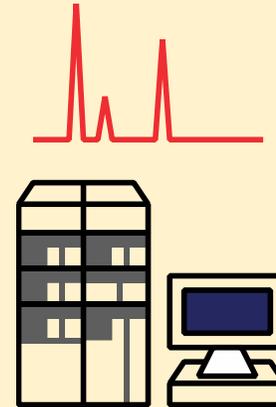
培養と回収

②粗精製



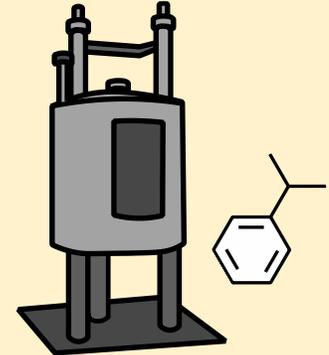
液液・固液分配
フラッシュカラム

③単離



MPLC・HPLC

④構造決定



NMR

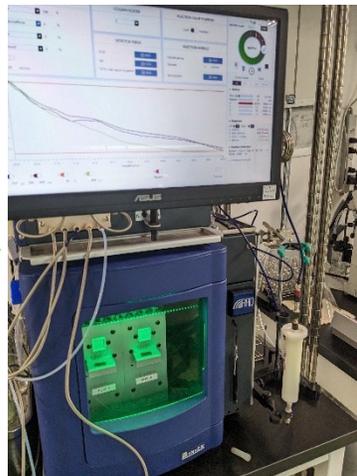
方法

- 酵母層溶液1Lを試料。
- ヘキサン、酢酸エチル、エタノール、水、の順番で液液分配。
- 各種クロマトグラフィー。
- NMR測定。

クロマトグラフィー



フラッシュ



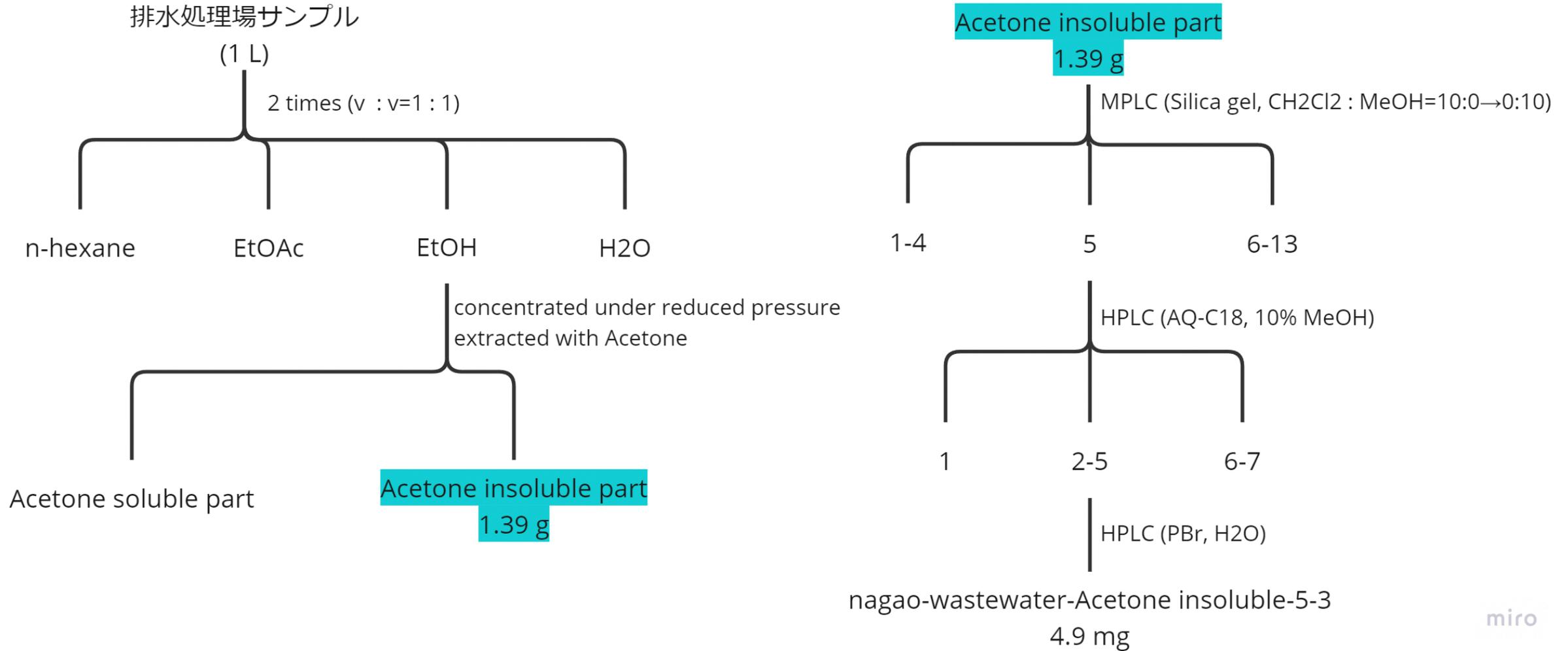
MPLC



HPLC

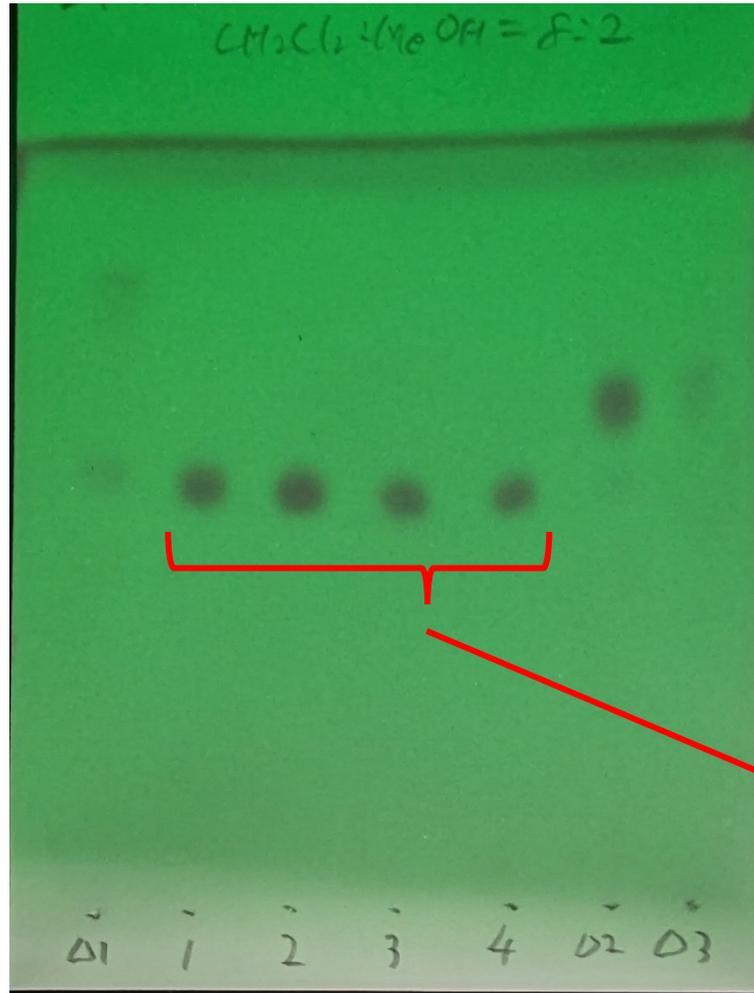
操作	内容
フラッシュクロマトグラフィー	夾雑物の除去、おおまかな分画
MPLC(Medium Pressure LC)	物質のさらなる分画
HPLC(High Performance LC)	物質の単離

フローチャート



EtOH画分から液体クロマトグラフィーを用いて単離した

精製物のTLC



<展開条件>

未修飾シリカゲルプレート

CH₂Cl₂:MeOH=8:2で展開



254 nmで観察

これらをまとめ、NMRを測定

メタボローム解析

試料から代謝物質を抽出する
(抽出、前処理)

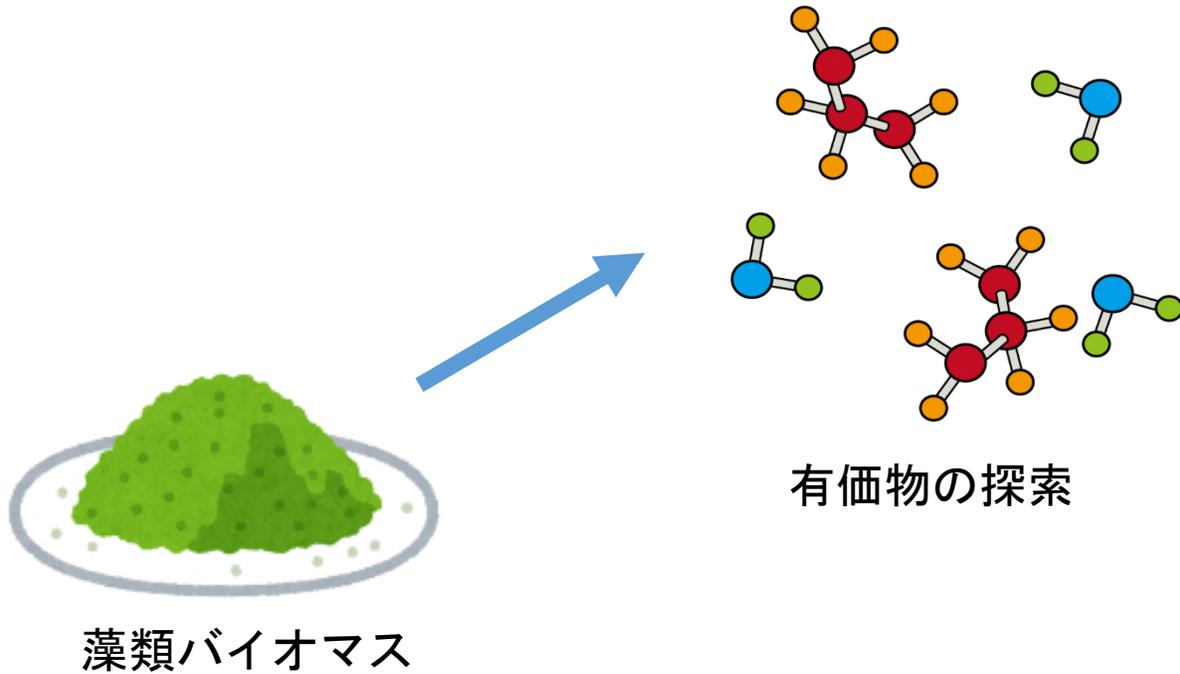
質量分析計を用いた
メタボローム解析の基本的な流れ

目的物質に適した手法を用いて
物性でわけける
(分離)

● 2	● 1	● 1	● 2
▲ 1	▲ 2	▲ 1	
■ 3	■ 1	■ 1	
◆ 1	◆ 1		
● 1	● 1		

質量でわけける
& 検出する
(質量分析)

有価物探索法



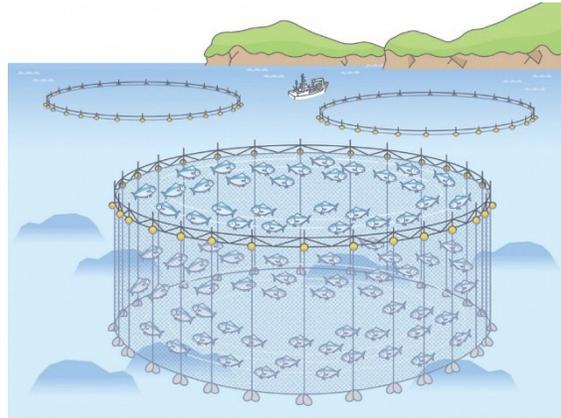
メタボローム解析

- 短時間で多くのサンプル解析
- 既知化合物に強い

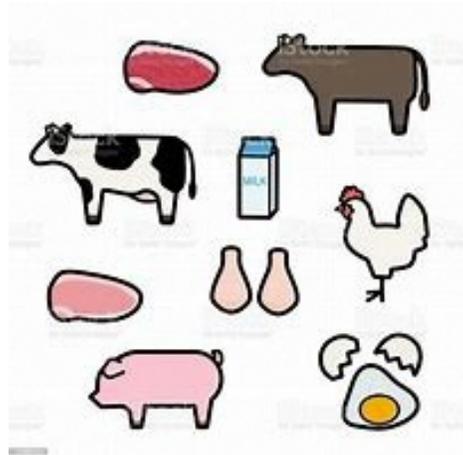
天然物精製

- 構造決定および活性試験への発展
- 未知化合物に強い
- 時間がかかる

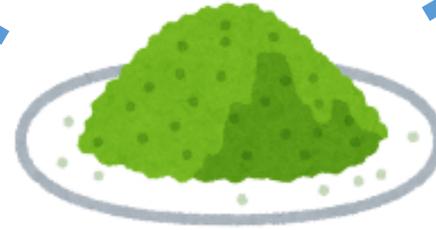
水質浄化および藻類バイオマス増産の確認後



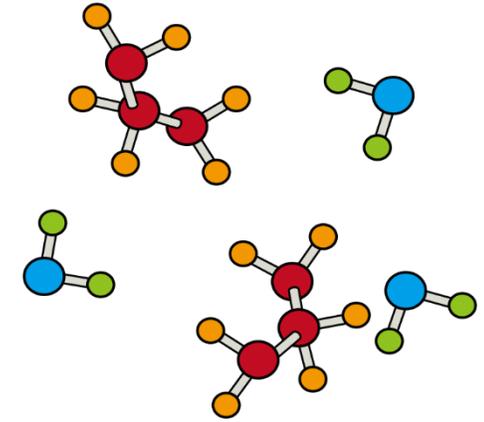
魚介類の飼料



家畜の飼料



藻類バイオマス

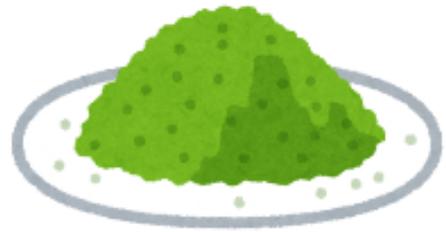


有価物の探索



創薬

天然物の活性試験



藻類バイオマス



精製



多様な検体に投与

- ウィルス
- 害虫
- 病原細胞
- 微生物



創薬開発



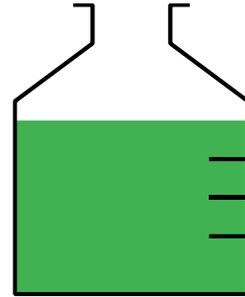
- 精製した化合物の抗菌活性試験
- 微生物のいないところは抗菌活性有り

ディスク拡散法による活性試験：微細藻類や大型藻類の論文例

論文では：

- 40mLスケール
- 凍結乾燥
- 溶媒抽出
- DMSOに溶かす
- 活性試験
- 病原微生物

培養



粗精製



- ヘキサン
- 酢酸エチル
- エタノール
- 水
- 残渣



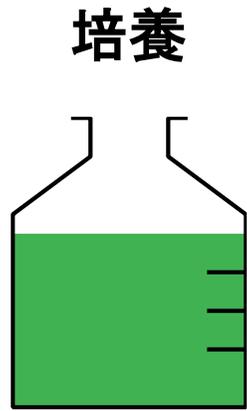
ディスク拡散法



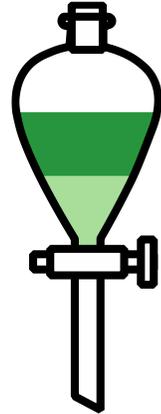
- 20 Lスケールで培養後、細胞試料を凍結乾燥
- ヘキサン→酢酸エチル→エタノール→水→残渣に分画
- 活性試験：非病原性微生物

TLCバイオオートグラフィー

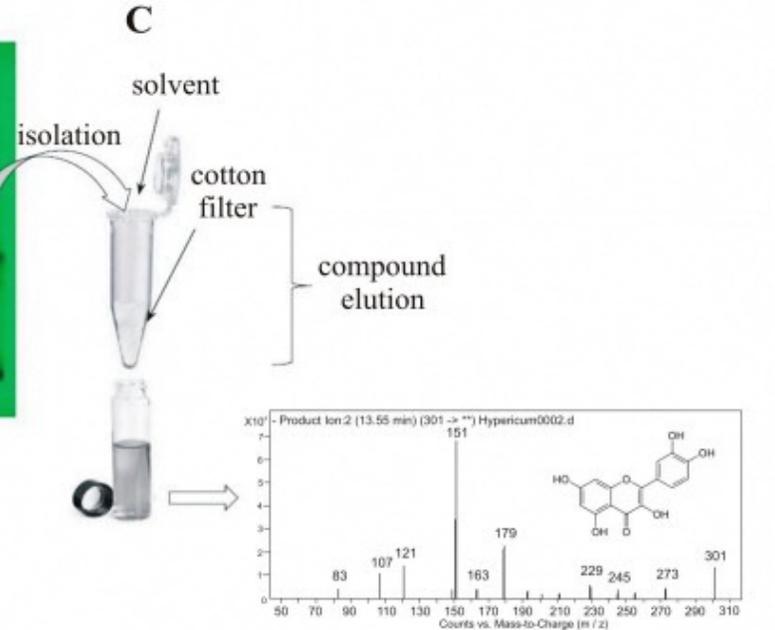
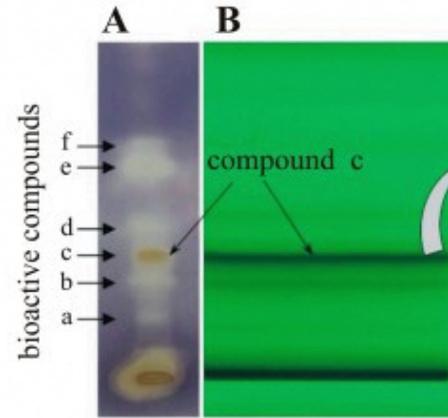
TLC-bioautography



粗精製



- ヘキサン
- 酢酸エチル
- エタノール
- 水
- 残渣

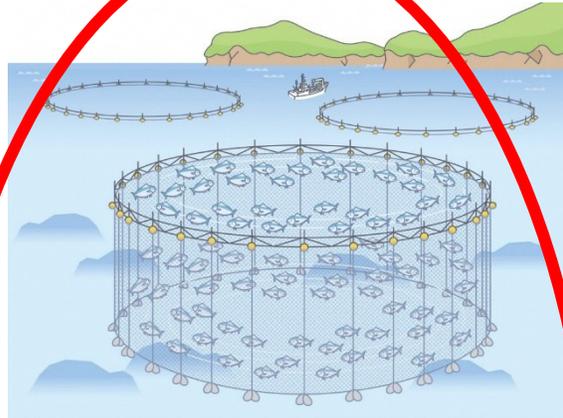


論文では：

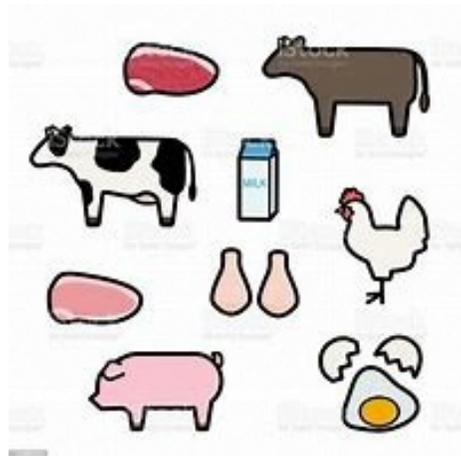
- 40mLスケール
- 凍結乾燥
- 溶媒抽出
- DMSOに溶かす
- 活性試験
- 病原微生物

- TLC展開後、微生物や酵素を塗布し反応させて検出する
- 抗菌活性に限らない（酵素反応もターゲットにするため）
- 医療系にも転用可（抗ガン剤の場合、キナーゼを対象とする）

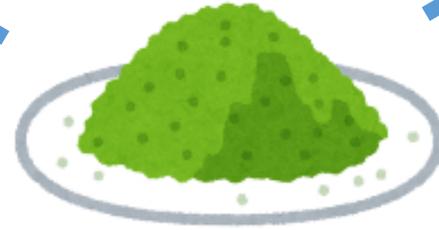
水質浄化および藻類バイオマス増産の確認後



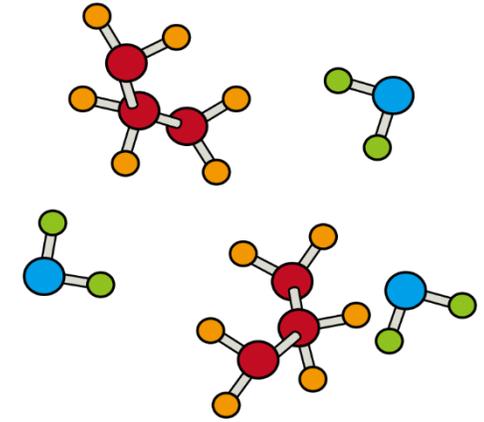
魚介類の飼料



家畜の飼料



藻類バイオマス



有価物の探索

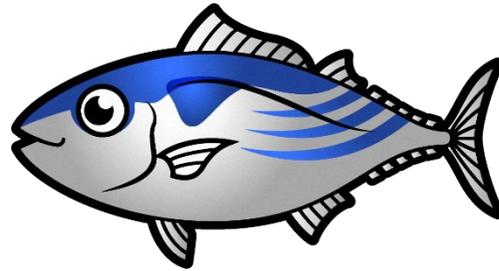


創薬

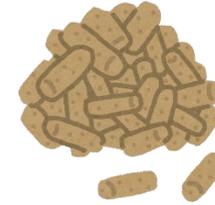
飼料としての藻類バイオマス



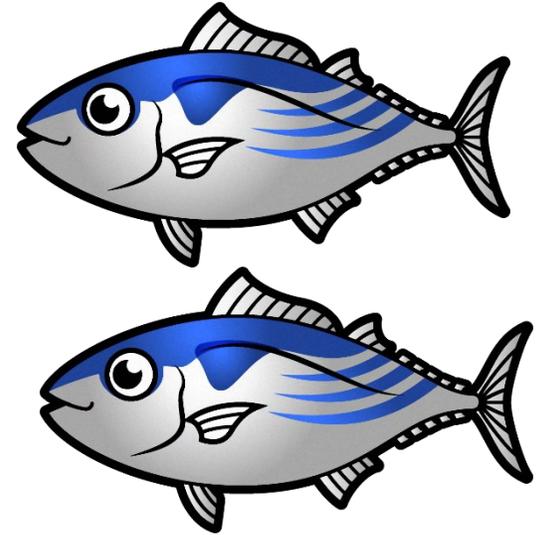
漁獲
→



加工
→



給餌
→

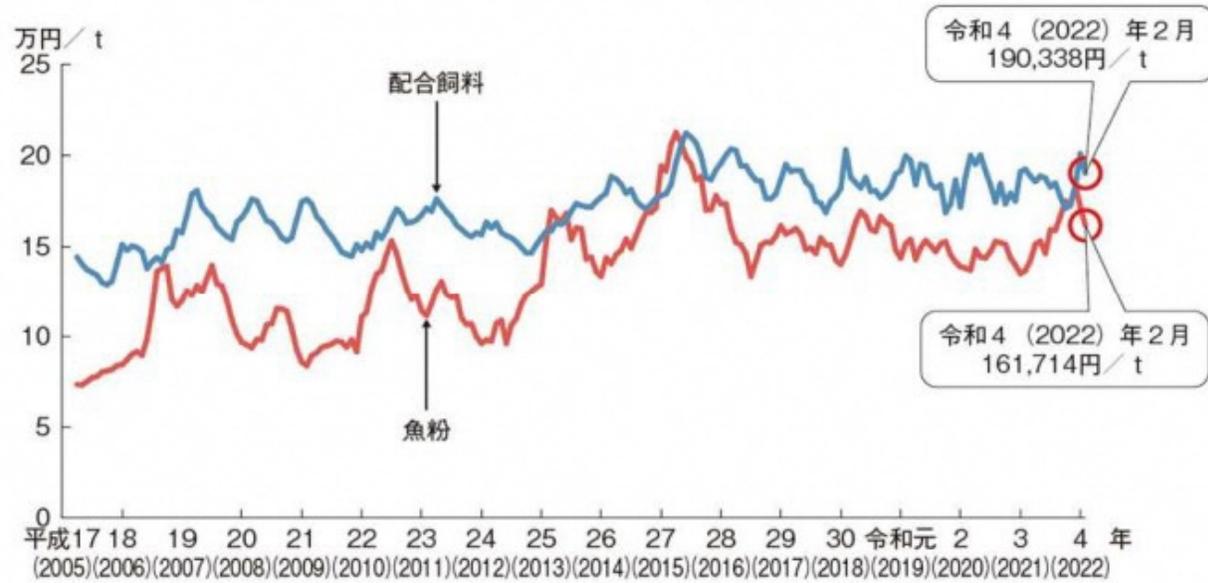


- 魚の養殖に魚を使う
- 価格高騰による代替飼料の模索

飼料としての藻類バイオマス

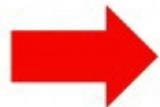
配合飼料原料の状況

図表2-13 配合飼料及び輸入魚粉価格の推移



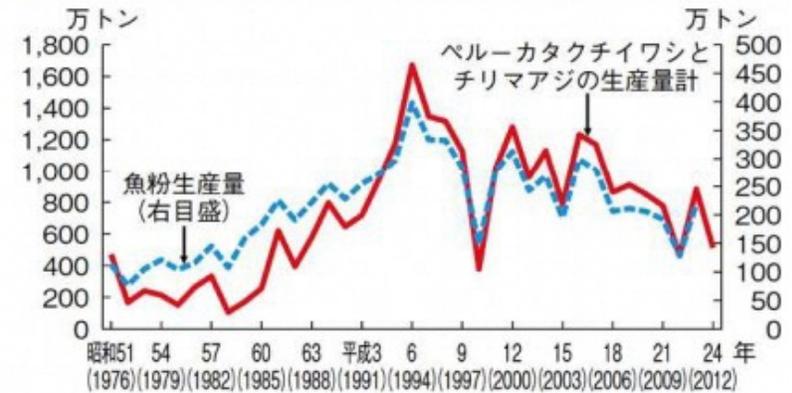
資料：財務省「貿易統計」(魚粉)、(一社)日本養魚飼料協会調べ(配合飼料、平成25(2013)年6月以前)及び水産庁調べ(配合飼料、平成25(2013)年7月以降)

令和3年度 水産白書 より抜粋



代替原料が必要

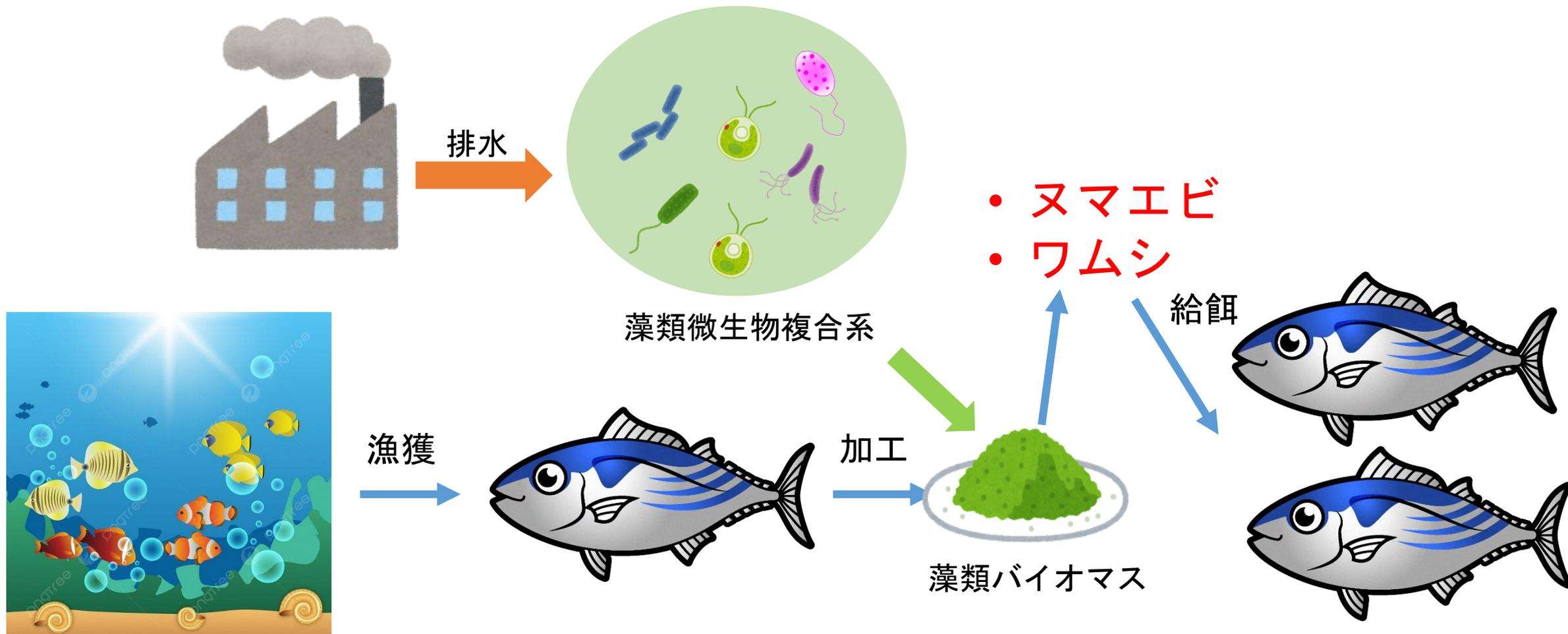
図I-2-8 ペルーとチリのペルーカタクチイワシ・チリマアジ及び魚粉生産量の推移



資料：FAO「Fishstat (Capture production, Commodities production and trade)」

平成25年度 水産白書 より抜粋

飼料としての藻類バイオマス



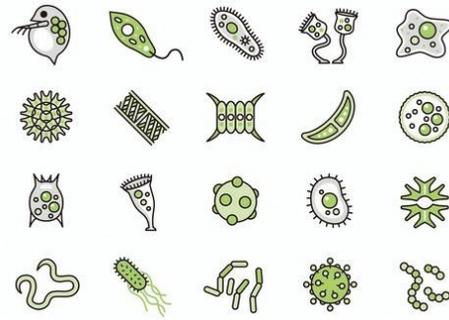
エサのコストを抑えて培養できるかもしれない

展望：駿河湾から全国、世界へ

排水と藻類微生物複合系の無限の組合せ



排水



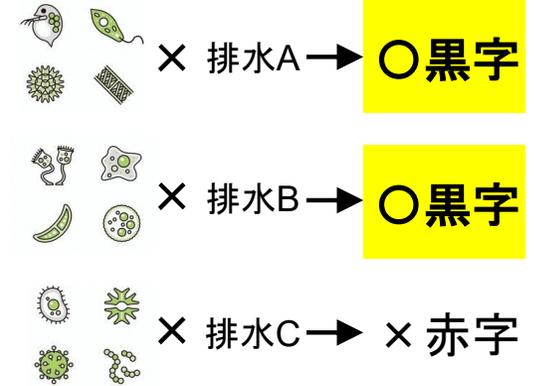
複合系

結果の集約

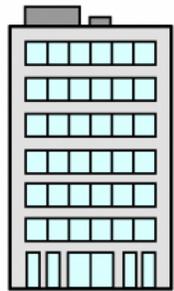


分析

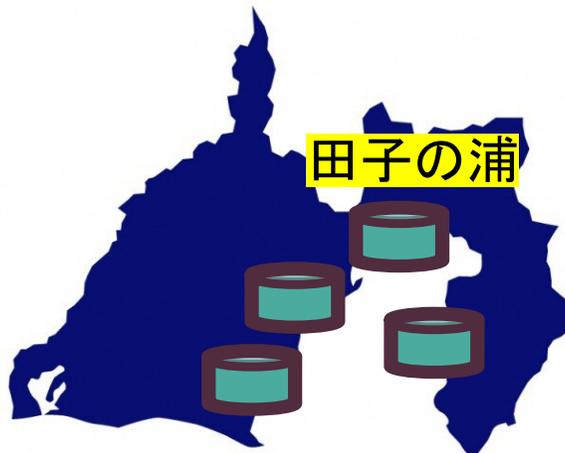
データベース



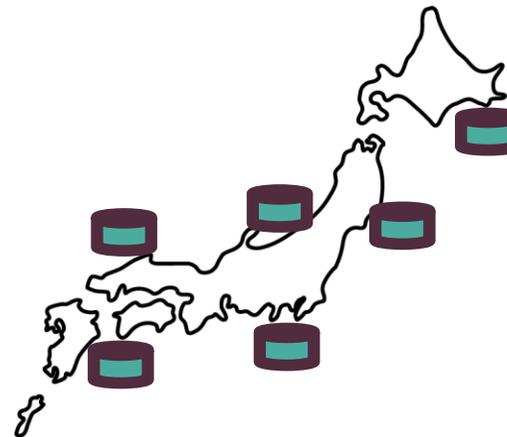
- 藻類微生物複合系の光合成および微生物反応による排水処理とバイオマス生産の分析
- 収益として黒字化の可能性を有する藻類微生物複合系と排水の組合せの集約
- 藻類微生物複合系による排水処理データベースの構築



事業化



駿河湾への展開



全国展開

藻類微生物複合系による

1. 排水処理コスト削減
2. CO₂削減



- 駿河湾発の藻類バイオ排水処理システムとして全国展開

1. 長尾研究室の研究事例

2. 田子の浦港の研究

長尾研究室の研究内容

「白色の浮遊物質」と「ヘドロ」を資源にして藻類バイオマスを生産

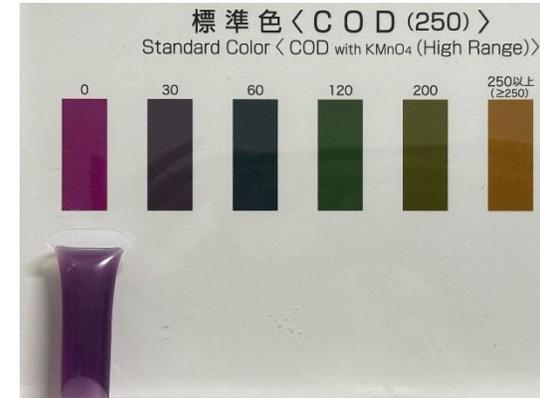


田子の浦港の水質：全然キレイだった・・・

サンプリング1



サンプリング2



- CODとは、水中の有機物の濃度を表す（汚さ）。
- 水サンプルが全然汚くなかった。

田子の浦港のヘドロを複合系で浄化する

ヘドロ



複合系をヘドロで培養

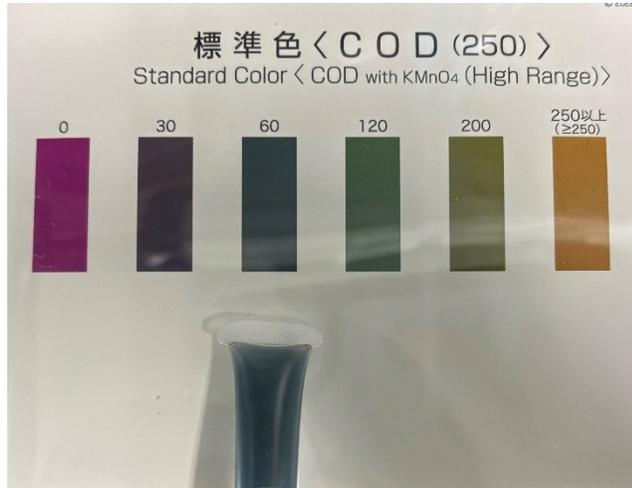


臭いひどい

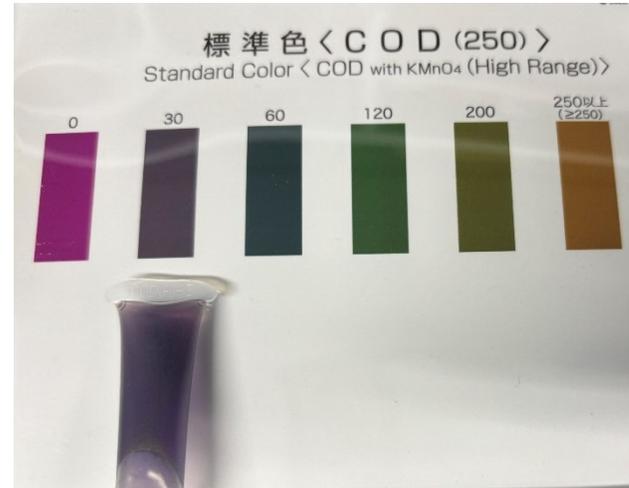
- 培養3日目で**ヘドロの臭い無くなった**
- 緑が増えてきた
- 泥の部分がサラサラになった（粘性がない）

田子の浦港のヘドロを複合系で浄化する

day 1



day 2



day 4



- day 2でCODが減少
- day 4ではCODがほぼない

今後の展望

- ヘドロを消費する複合系を単離する
- DOC、IC、藻類増殖、微生物組成を調べる
- バイオマスの有用性を調査する
- 浄化済みヘドロの物性を調べて周辺に廃棄できるか調査する
- 浮遊物を消費する複合系についても検討する

展望：田子の浦港でのバイオ排水処理システム稼働



- 港の近くにヘドロ回収場所を設ける
- 小型の培養装置を設置し、ヘドロ浄化を検証する
- 得られたバイオマスを有効利用する設備を稼働する
- 雇用を生む

知的財産について

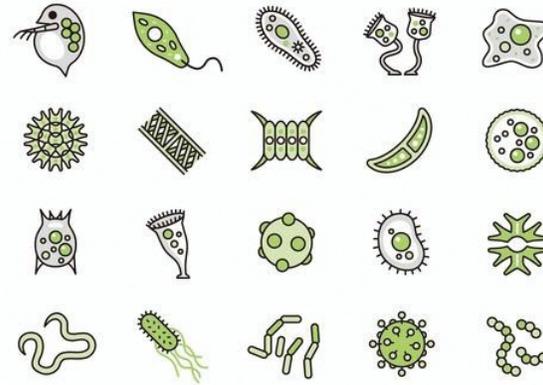
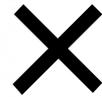
廃水の数だけ特許申請可能

- 「サバの廃水 + 複合系A」、「イワシの廃水 + 複合系B」 → 可能
- 「サバの廃水 + 複合系A」、「イワシの廃水 + 複合系A」 → 可能

排水と藻類微生物複合系の無限の組合せ



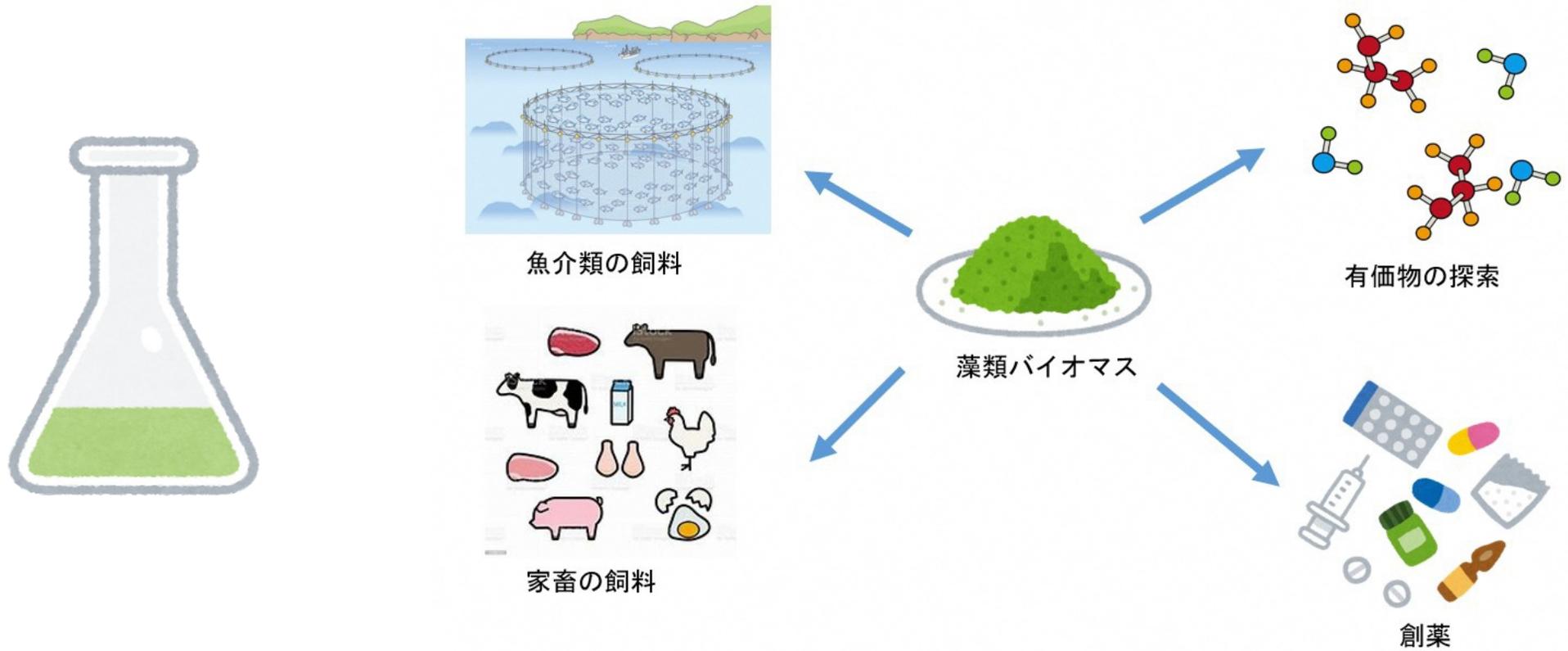
排水



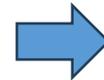
複合系

知的財産について

各段階で特許申請



- 廃棄物で培養が成功した
- 物質Xを見つけた



各段階で特許取得

共同研究のご連絡お待ちしております