

バイオマス安定生産のための培養菌叢の事前予測技術開発



一般社団法人日本微細藻類技術協会 野村純平

2025年5月30日

NEDO先導研究プログラムVIPワークショップ

グループ〔1〕		新エネルギー分野
テーマ名		「バイオマス安定生産のための培養菌叢の事前予測技術開発」
発表者		（一社）日本微細藻類技術協会（IMAT） 事務局長 野村 純平
概要	技術開発の必要性	バイオマスの生産性向上には、安定的に長期間培養することが重要であり、それをさまたげる要因としてコンタミネーションによる培養破綻が挙げられる。微細藻類の産業規模での生産において開放系での屋外培養では環境変動が生じないケースは稀であり、対応するためには常に培養環境を把握し、培養破綻の「予兆」を検知し、菌叢の変動予測を実現することが必要である。
	技術開発の要点	培養フェーズ毎でのリアルタイム菌叢解析を実施し、様々な微細藻類種・気象条件における培養環境のデータベースを構築し活用することで、培養実施におけるリスク管理を行う体制を整え微細藻類の安定培養の実装を目指す。
	目指すべき社会像	培養破綻における予兆が明確化され、目的藻類の増殖に有利に働く環境構築も実現出来るため、産業利用できる藻類種の数が劇的に増加し、CRに寄与する微細藻類由来バイオマスやSAFの開発加速が想定される。それによりバイオマス生産あたりのコストが200 \$ /tほどの低減が期待できる。

⑩航空機産業の
成長戦略「工程表」

●導入フェーズ： 1. 開発フェーズ 2. 実証フェーズ 3. 導入拡大・コスト低減フェーズ 4. 自立商用フェーズ

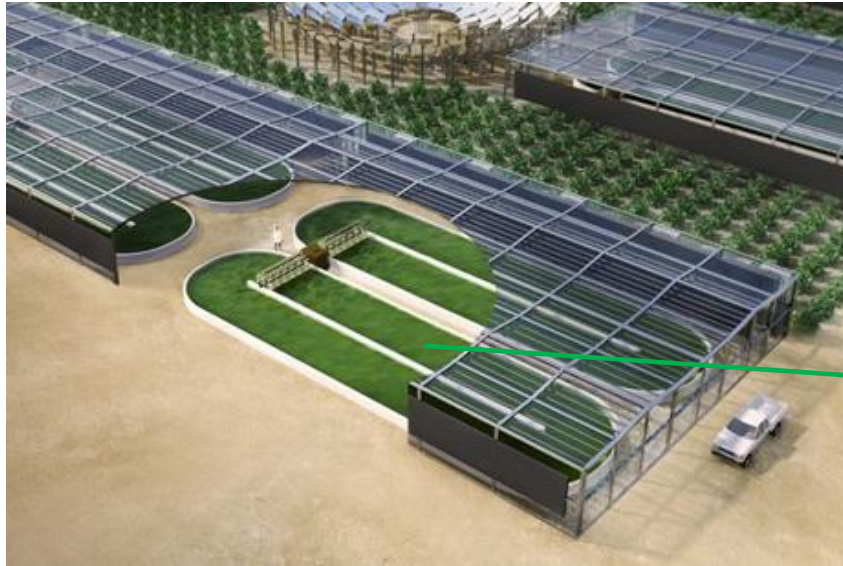
●具体化するべき政策手法： ①目標、②法制度（規制改革等）、③標準、④税、⑤予算、⑥金融、⑦公共調達等



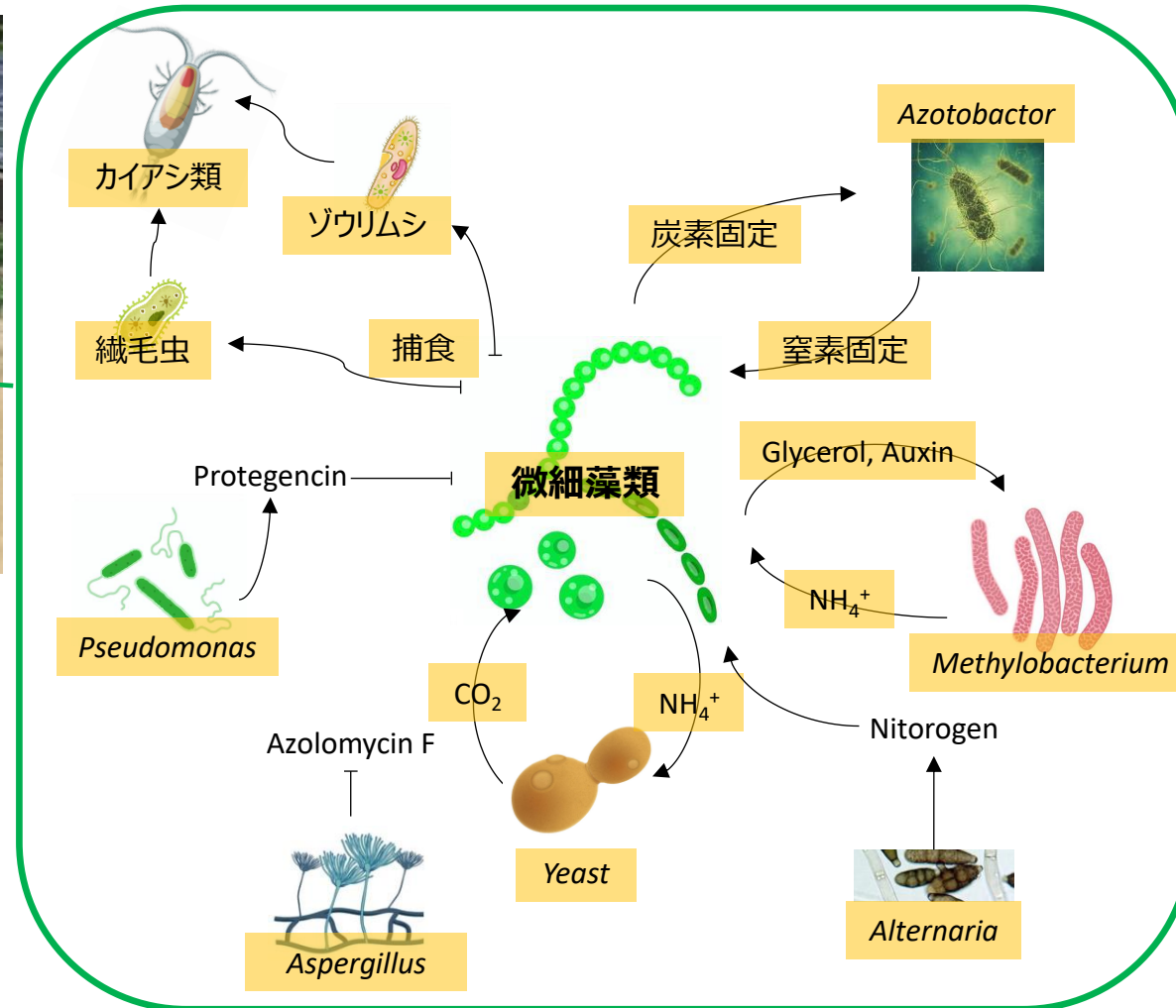
2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（令和2年12月） p154より引用

背景：菌叢の把握が作り出す価値

- 屋外環境での培養では、微細藻類は様々な微生物と相互に関わりを持って生育を行っている。



その生育環境の把握は、培養を行う上での安定化のためにも重要であり、将来的には共培養等の生産性向上のための情報を得る事が出来る。

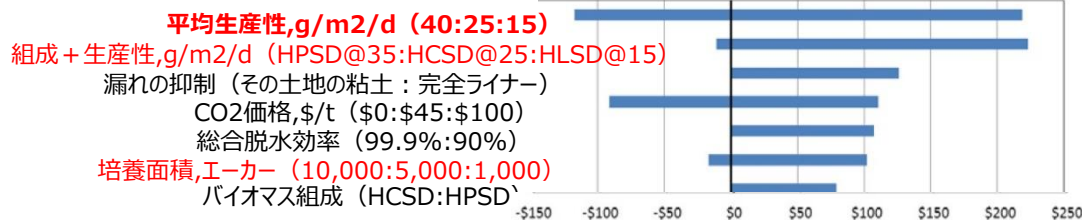


Calatrava et al. *Plants* 2023, 12, 788.

背景：菌叢の把握が作り出す価値

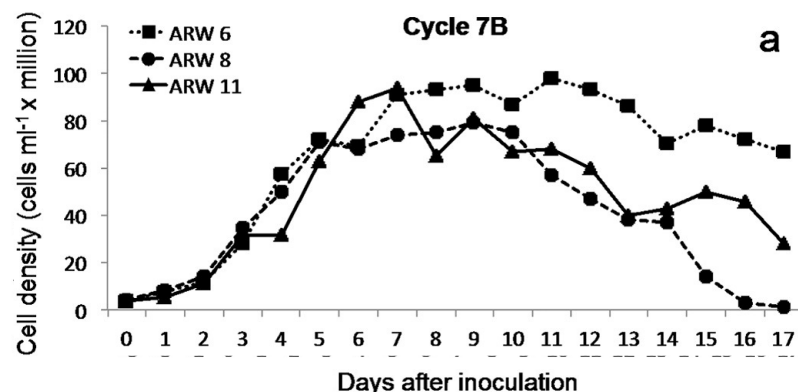
■ 微細藻類を開放系で培養を行うと、様々な外来生物に晒されることになる。ポンドクラッシュの多くは外来生物のコンタミネーションによって引き起こされており、その生産コストの影響は非常に大きい。そのため、コンタミネーションの抑制・リスク管理は非常に重要となり、国内外問わず多くの検討がなされている。

最小販売価格の変化（\$/t-藻、ベースライン：\$491/t）

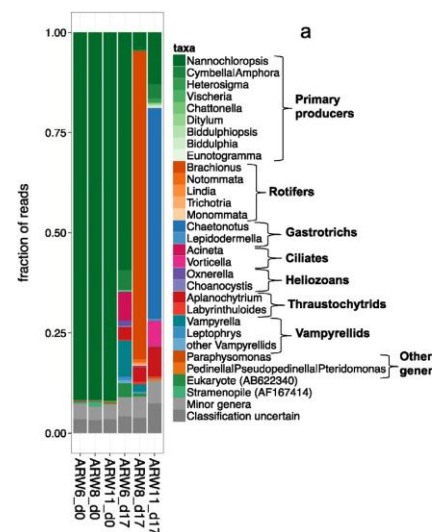


Conceptual Basis and Techno Economic Modeling for Integrated Algal Biorefinery Conversion of Microalgae to Fuels and Products (NREL, 2019)

コストへの影響の大きい要素は生産性に関するものが上位を占めており、安定生産は産業化の課題解決事項として最重要事項の1つであり、バイオマス生産あたりのコストが200 \$ /tほどの低減が期待できる。

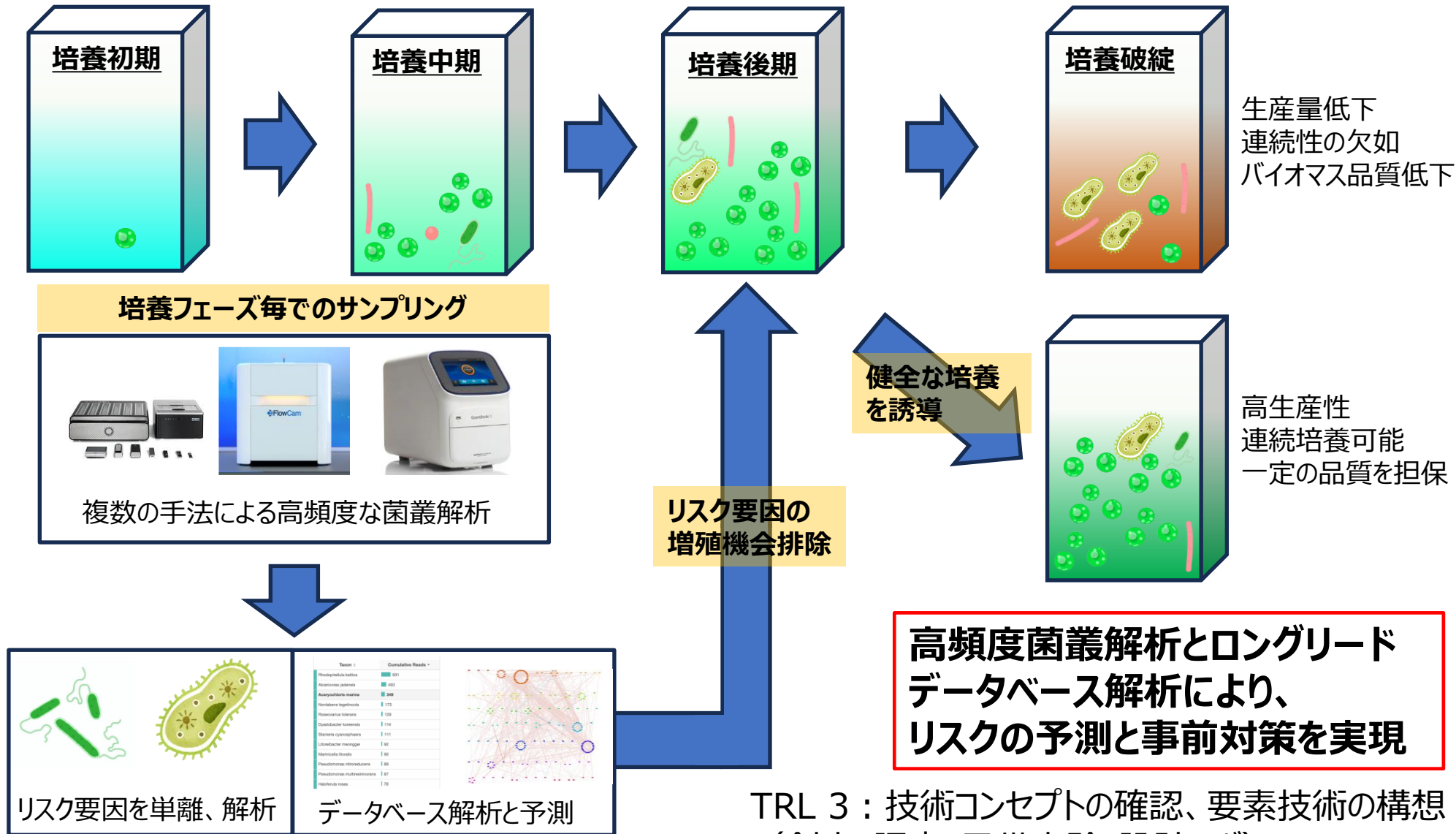


Carney et al. *Algal Research* 17 (2016) 341–347



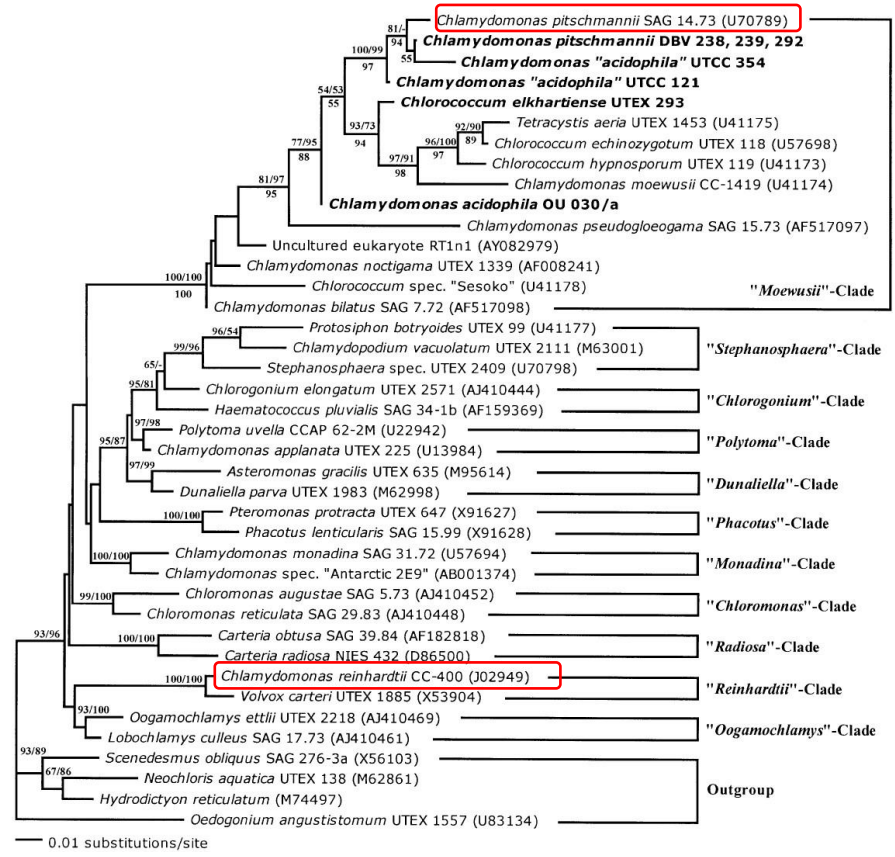
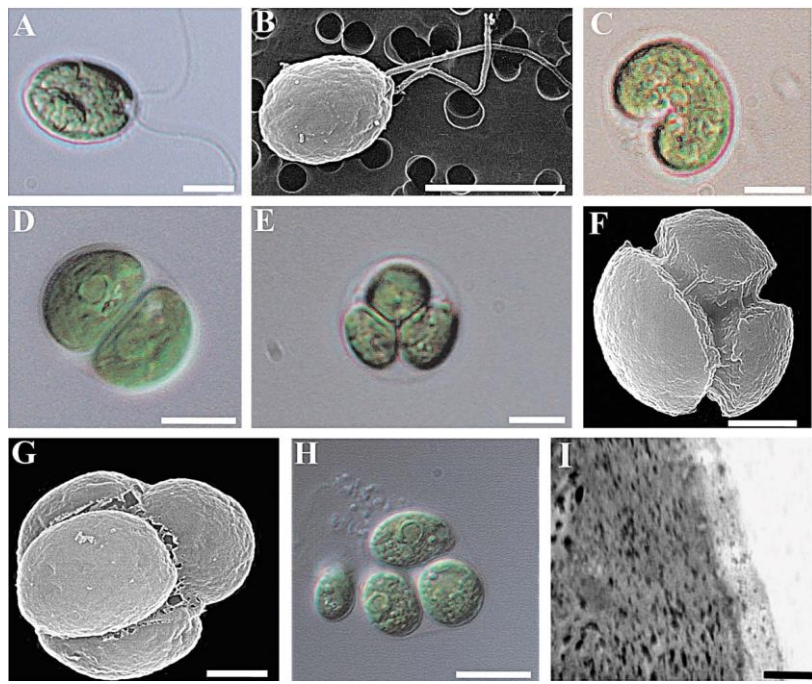
微細藻類を単独で培養した際、その外来生物のコンタミネーションは顕著に生産性に効いている。

提案の要点：培養破綻の予測を行うための菌叢解析



TRL 3：技術コンセプトの確認、要素技術の構想（創案・調査・予備実験・設計など）

C. pitshmannii



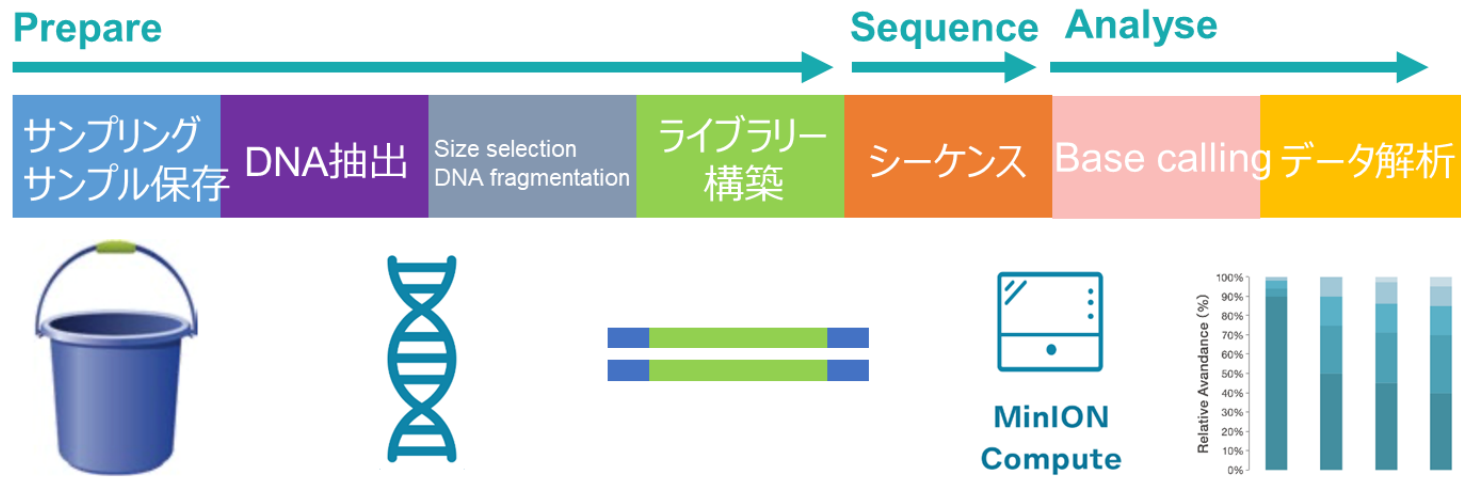
- クラミドモナス属の中では酸性領域でも生育が可能な特徴を持つ種
- 中性領域では生育が不安定で破綻しやすい傾向にある
- ゲノム情報はショートリード由来のもののみ

Antonino Pollio. et al., 2005

- Nanoporeを用いてロングリード配列を決定
- その配列情報と特にリスクの高い生物叢を用いてコンタミネーションリスクを推定

取り組み事例：模擬環境による解析

解析手順



- 中性領域(pH 6.5), 酸性領域(pH3.5)に調整したチューブ型フォトバイオリアクターを同時に運用開始
- 19日間培養液をサンプリング
- gDNA抽出後、ナノポアシーケンサー (MinION) を用いてシーケンス



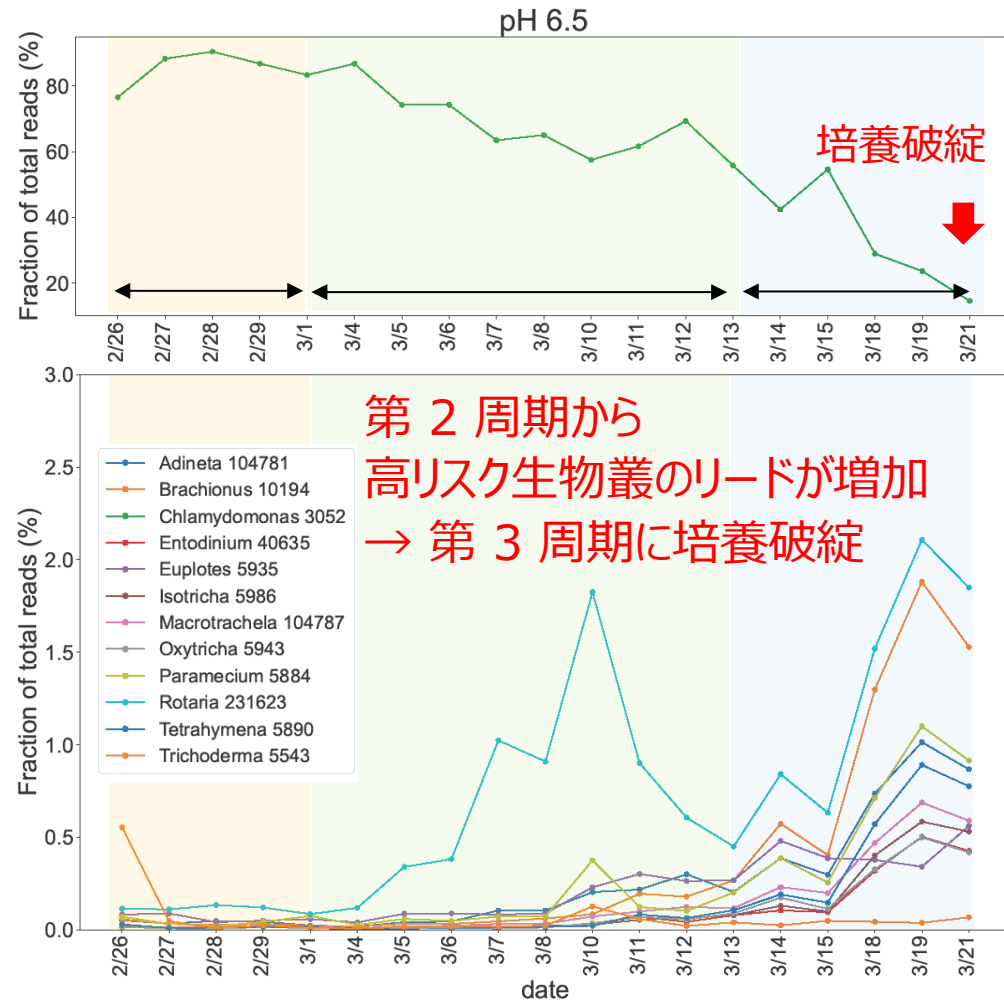
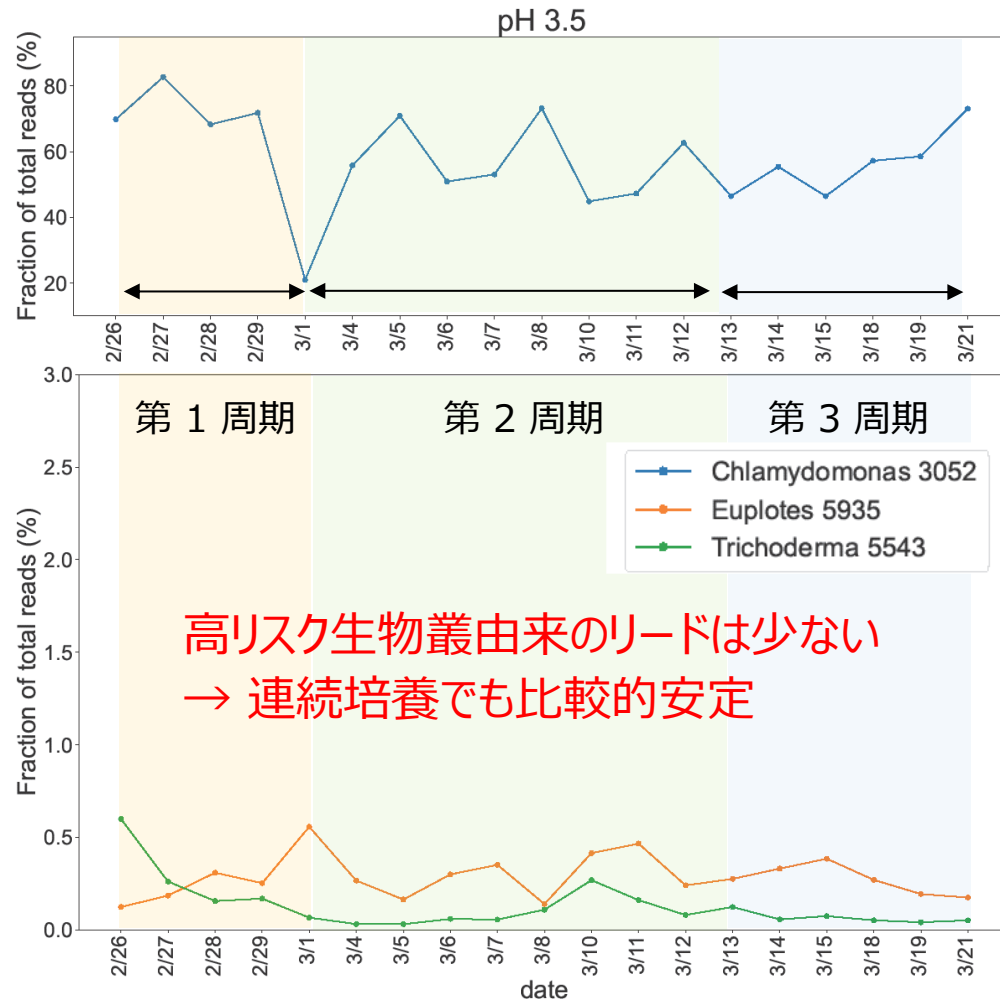
pH 6.5



pH 3.5

取り組み事例：模擬環境による解析

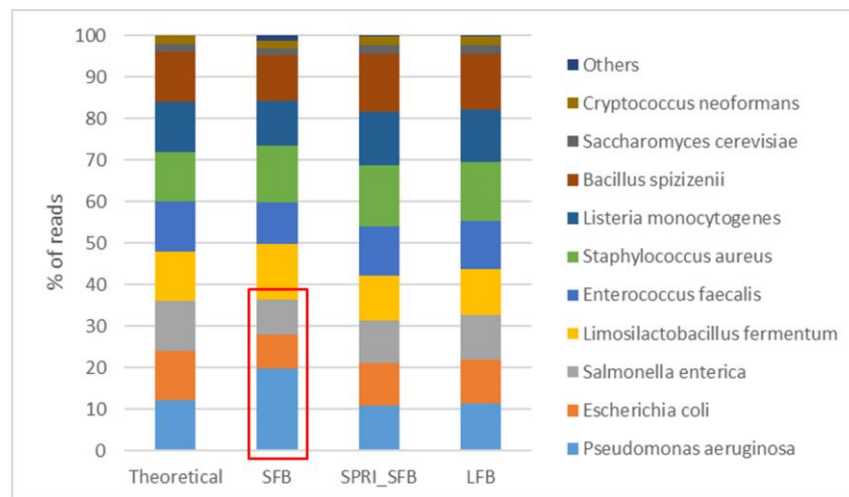
培養液から検出された分類群（属）の時系列データ
 （全てのサンプルでリード数が 0.05 % 未満の属は非表示）



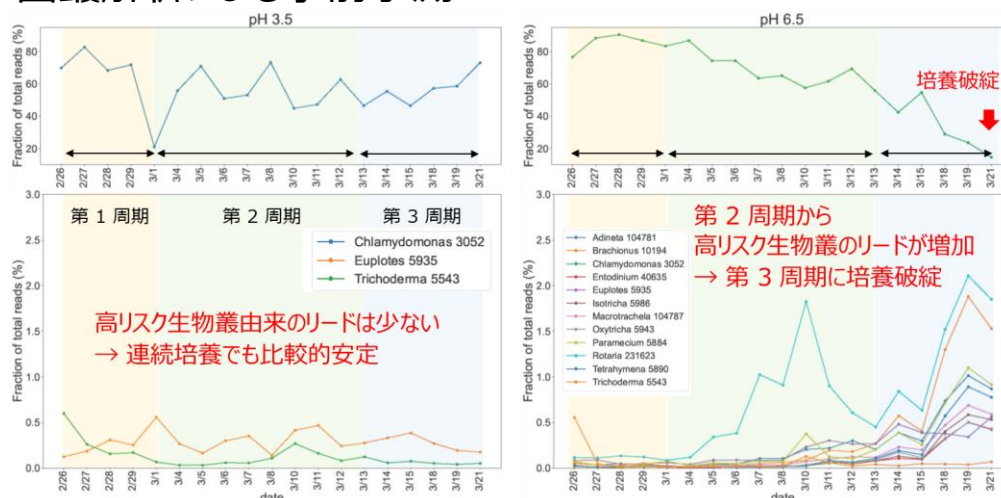
成果と課題：動態ネットワーク解析の必要性

■ 結果

標準手法を決めるための事前検討例



菌叢解析による事前予測



ロングリード解析結果を「ある程度の精度」で迅速に実施するための手順の策定は実現可能であり、事前に検知できることも実証できた

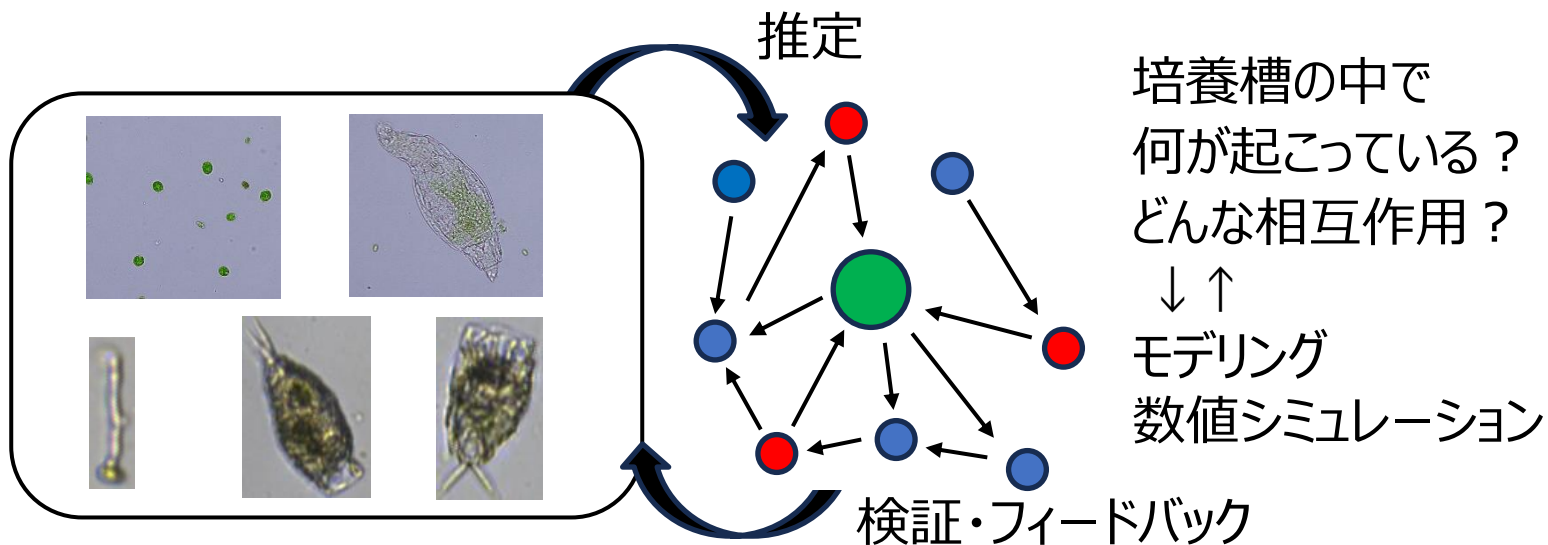
一方で、**連続的な培養動態ネットワークの時系列的な挙動の把握**には、より踏み込んだ解析手法の確立が必要である

目的：培養液中コンタミネーション検出環境の整備

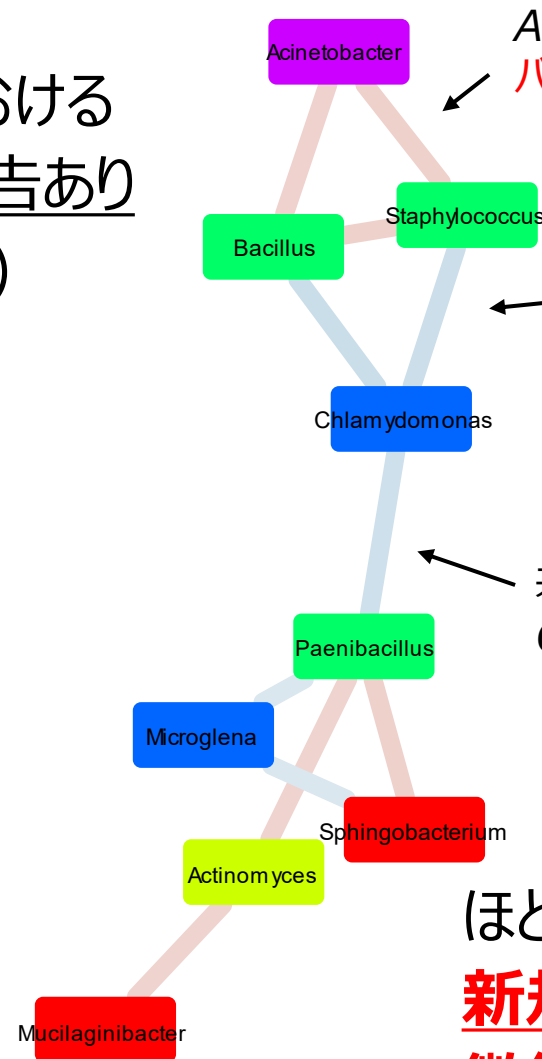
Third-generation sequencing (ONT, MinION) を用いた
メタゲノム解析による培養液中菌叢の網羅的解析

最終的には …

**目的とする藻類の培養において有益、あるいは有害な微生物群相の
継続的なモニタリングと対応策の提案**



pH 6.5 培養液中における
一部の相互作用は報告あり
(**正の相関**, **負の相関**)



Acinetobacter と Staphylococcus 間での
バイオフィーム形成促進による、環境ストレス適応？
Shipitsyna et al. 2016

Chlamydomonas reinhardtii 抽出物により
Staphylococcus のバイオフィーム残存率低下
Ghaidaa, H. A. et al. 2020

共接種試験では分離株 MEZ6 は
Chlamydomonas reinhardtii を迅速に死滅させる
Zhao, N. et al. 2022

- クラミドモナス目
- モラクセラ目
- スフィンゴバクテリウム目
- 放線菌目
- バシラス目

ほとんどの相関は報告がない
新規のバクテリア-バクテリア,
微細藻類-バクテリア間相互作用？

- ・ SAF等の原料として期待されている微細藻類の産業化課題として、その生産コストの高さが挙げられる。今回の提案はその解決の一助となるものであり、安定生産に寄与することで200 \$ /tほどの低減が期待できる。

- ・ その実現に向けた課題は下記の4点となる。

①標準化②解析手法確立③高速化④対策案の立案

- ・ 実現可能性を調査するため、①の実施と②の初期検討を行った。

①標準化 については *Microbial Community Standard* を用い、安定的な解析に持つて行く条件の確立が完了した。

②解析手法確立 については実際の培養環境の情報を基に、eLSA等を用いバクテリア-バクテリア間、微細藻類-バクテリア間の相互作用を示唆する相関の確認まで完了した。

課題としては、種や株レベルでの相互作用推定手法とその検証等が挙げられる。

2026-27年

ロングリードメタゲノム解析を実施することで豊富な微細藻類培養環境の把握と高リスク生物種の動態を経時で可視化出来るようにする（②解析手法確立③高速化）

2027-29年

確立した技術によりコンタミネーションの生じない培養環境を設計する（④対策案の立案）

- ・高リスク生物種が生育し辛い環境の培地組成の設計
- ・高リスク生物種から守られるような共生系の構築
- ・目的微細藻類種のみ健全に増殖が行われるような培地成分の経時制御

2029年-

大規模培養設備への導入のための社会実装試験を行う。