



Tokyo Tech

令和5年度 海洋プラスチックごみ学術シンポジウム

マイクロプラスチックが微細藻類群集の エネルギー代謝に及ぼす影響

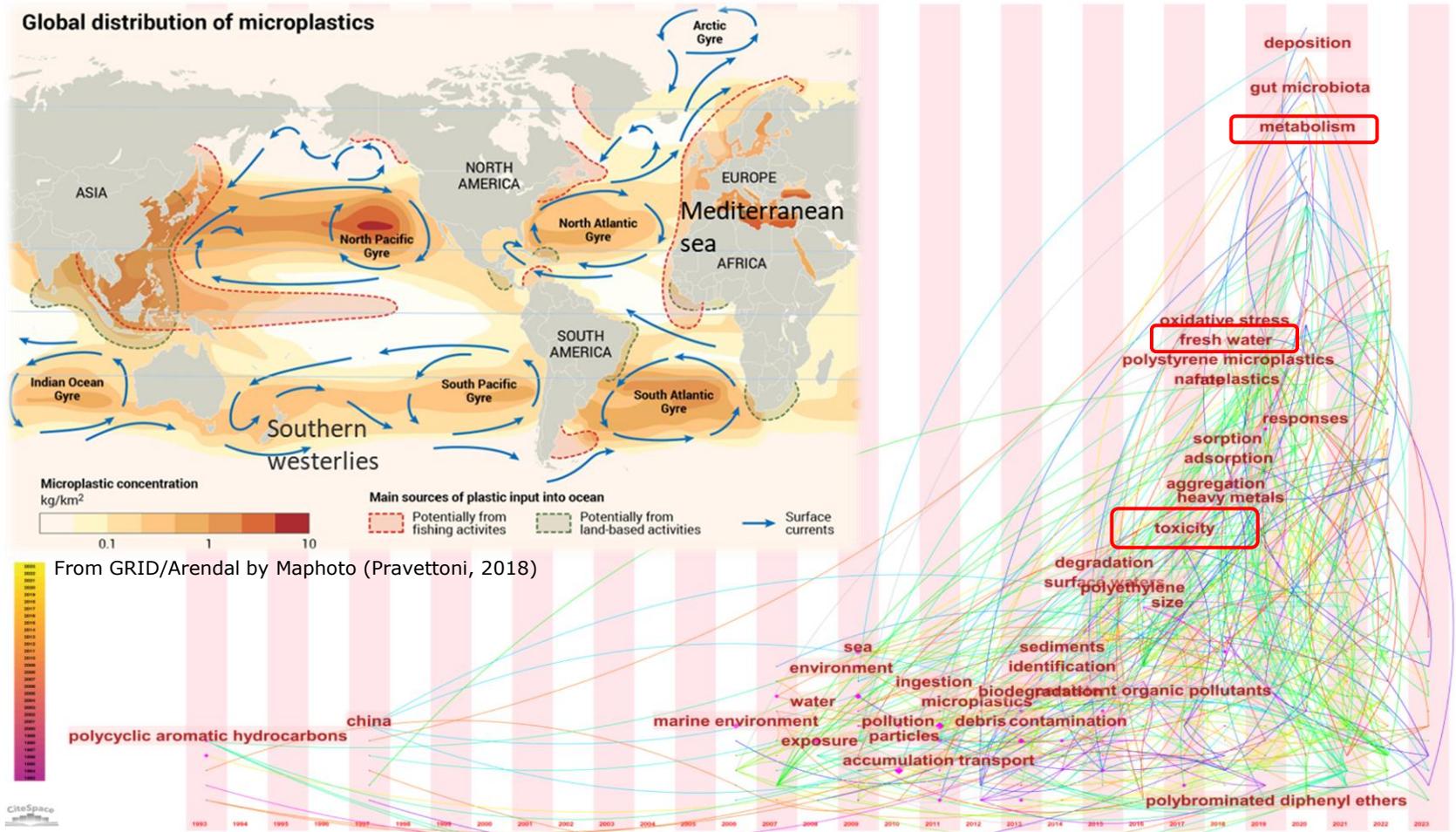
2024年3月09日

東京工業大学 環境・社会理工学院

Cheng Shuo (テイ シャク)

研究背景-1

- 東アジアと東南アジア地域はマイクロプラスチック（MP）に囲まれている。
- MPに関連する論文数は、ここ20年で急激に増えている。
- 近年、マイクロプラスチックが淡水生態系や生物代謝プロセスに与える影響が注目されている。

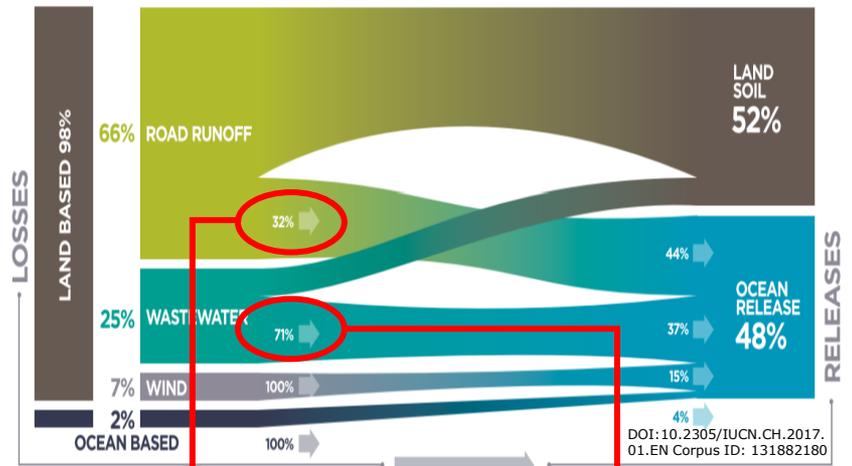


研究背景-2

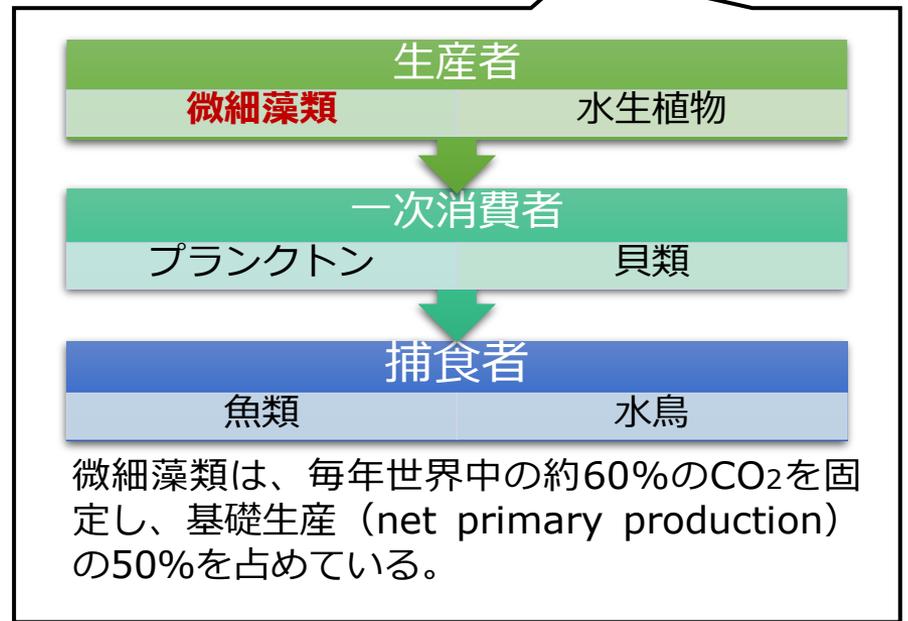
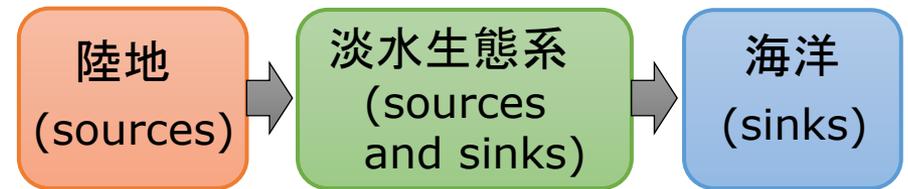
- 海洋のMPsの80%以上は陸域に由来する。
- 淡水生態系は、MPsの排出源 (source) と流入地 (sink) の両方として、最も深刻な影響を受けている。
- 水生生態系の生産者としての微細藻類のニッチ (niche) は、MPsと重なっている。

GLOBAL RELEASES TO THE WORLD OCEANS:

CONTRIBUTION OF DIFFERENT PATHWAYS TO THE RELEASE OF MICROPLASTICS



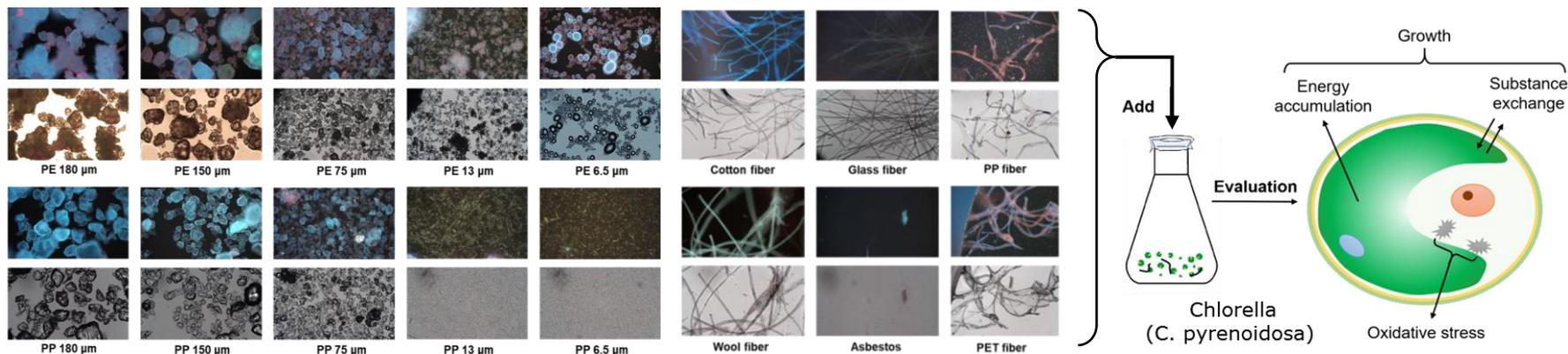
マイクロ繊維



先行研究-1

● 単一種による実験

- モデルMPとして、PP、PE、PETの繊維（300-500×20μm）および破片（6.5-180μm）を使用した。

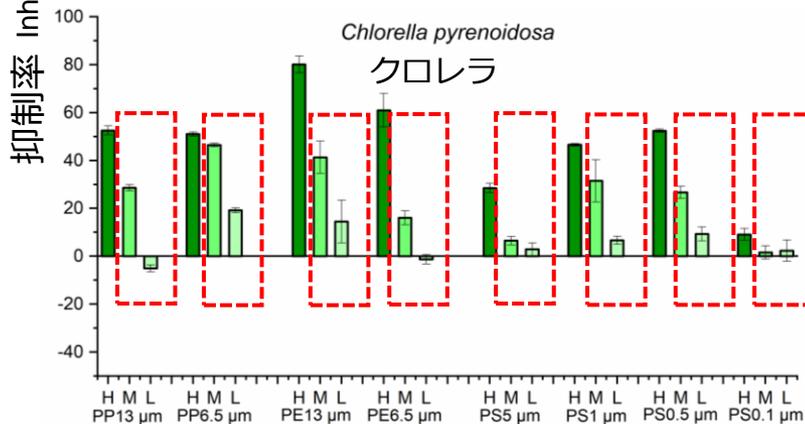
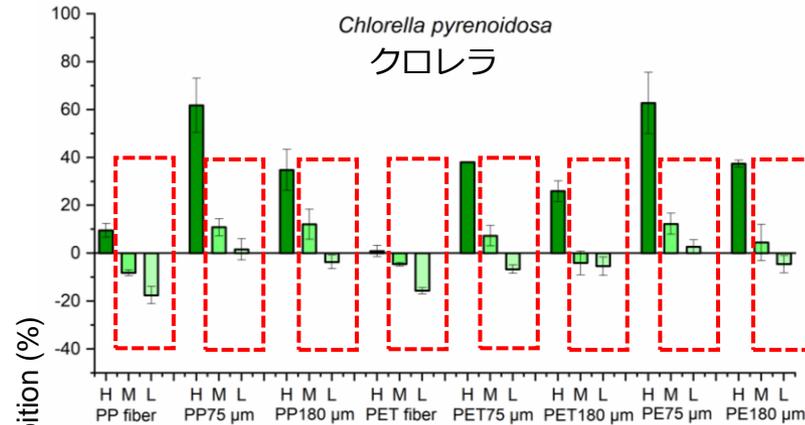


- 低濃度 (<1 mg/L) の綿と羊毛繊維はクロレラの成長を阻害しなかったが、MPsは阻害した。
- 高濃度 (>10 mg/L) のMPsは藻類細胞中の糖、タンパク質、脂質の含量を増加させたが、低濃度 (<1 mg/L) では、代わりに上記物質の蓄積を抑制した。

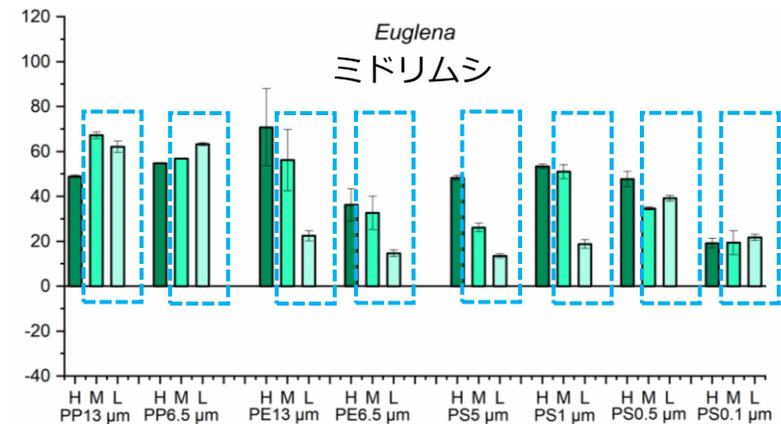
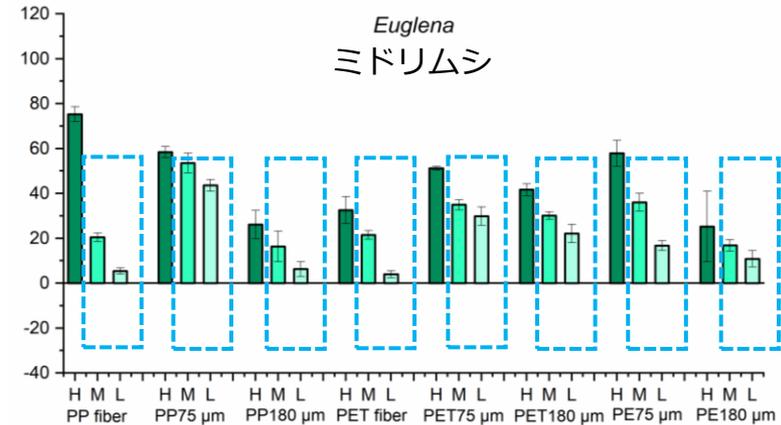
- MPsはクロレラ細胞のエネルギー代謝を阻害することがわかった。
- 低濃度のMPsの影響に関しては、さらなる注意が必要である。

先行研究-2

● 複数種による実験



H: 1 g/L M: 10 mg/L L: 0.1 mg/L



- MPsの濃度は0.1~10 mg/Lで、クロレラの成長に一致した影響を与えなかったが、ミドリムシの成長は阻害した。



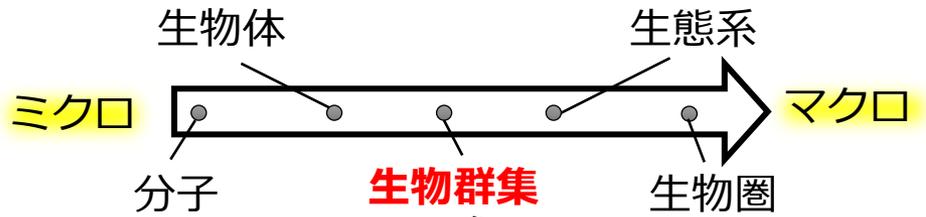
➤ 微細藻類に対するMPsの影響は種特異性があり、低濃度でより著しくなった。

実験デザイン

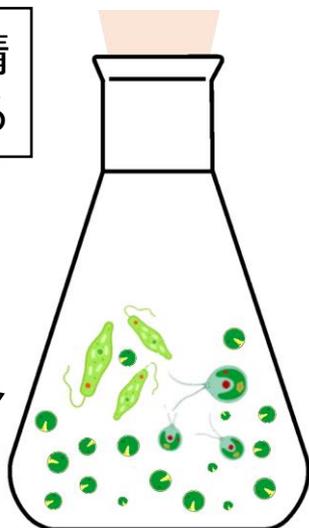
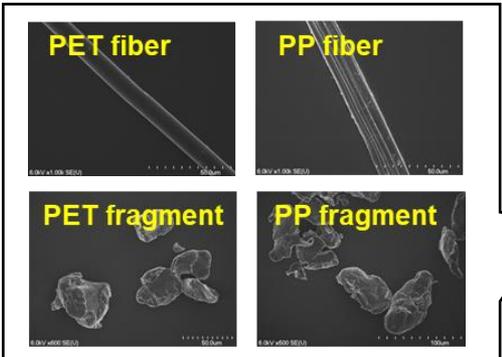
● 微細藻類群集による実験

- 本研究の目的
 - 低濃度のマイクロプラスチックが微細藻類のエネルギー代謝に及ぼす影響をさらに検討する。
 - 種の特異性にとらわれないデータを得る。

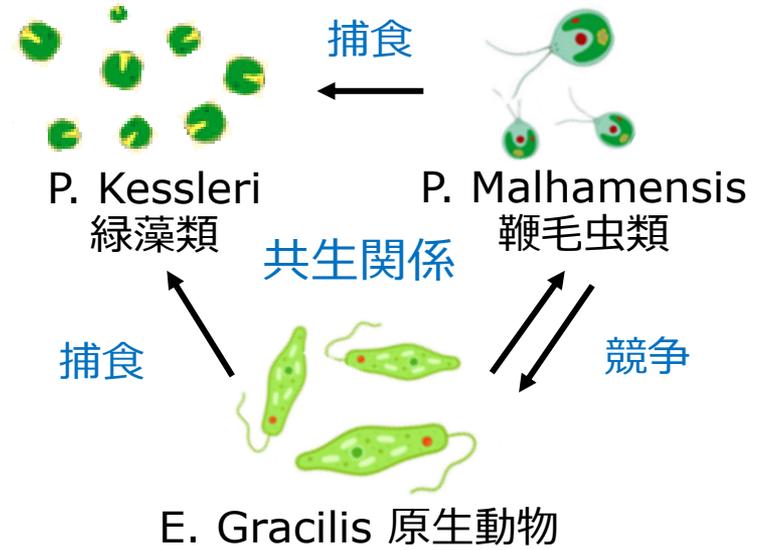
● 生命の階層：



生理学的と生態学的情報の両方を提供できる



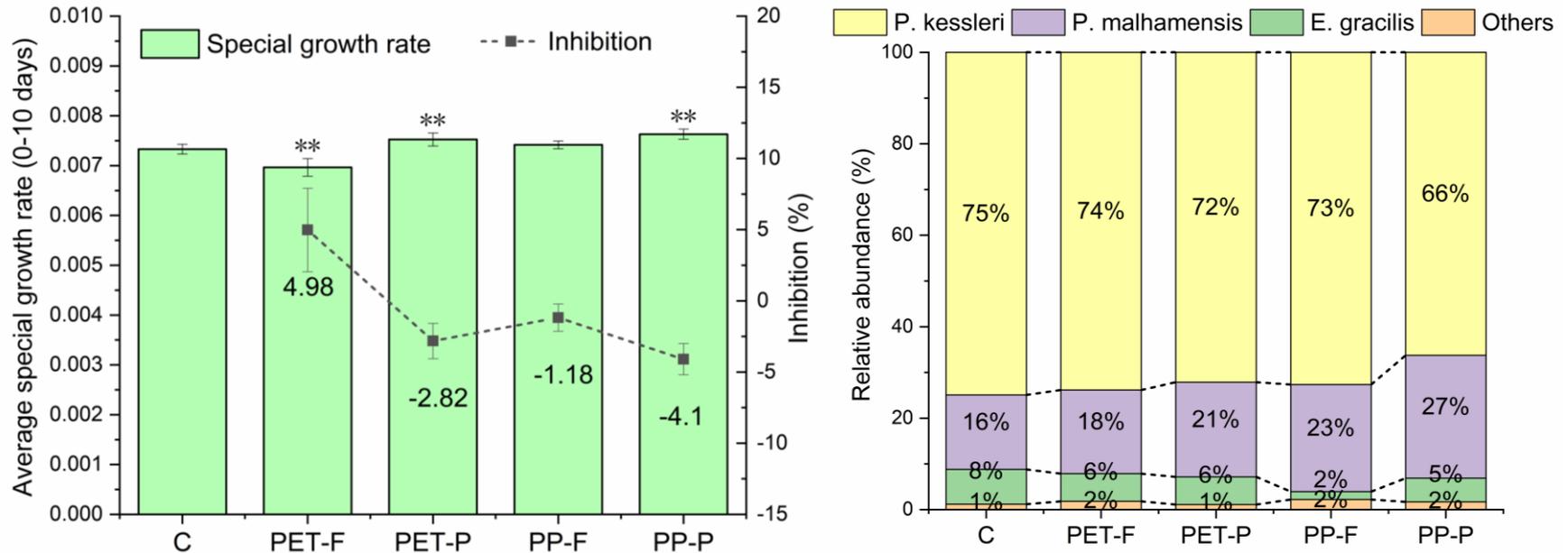
● 本研究で使われた微細藻類群集：



研究者の研究室で1年以上にわたって継代培養されている。

群集全体への影響-1

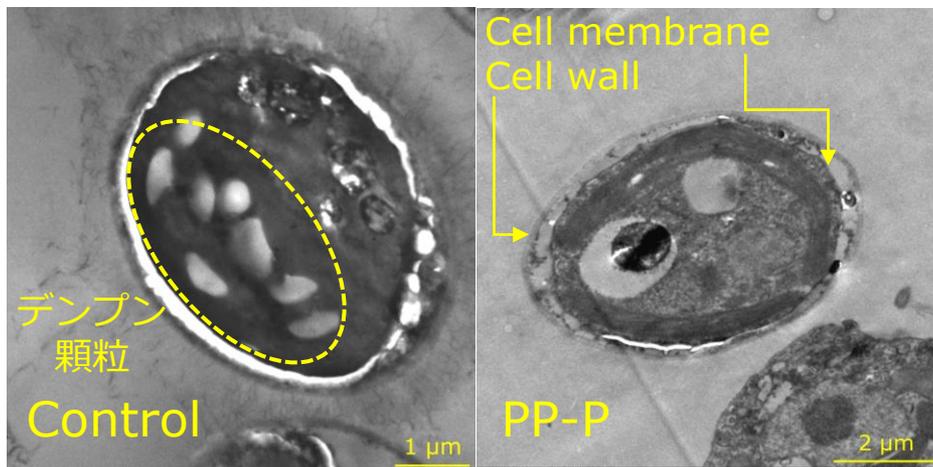
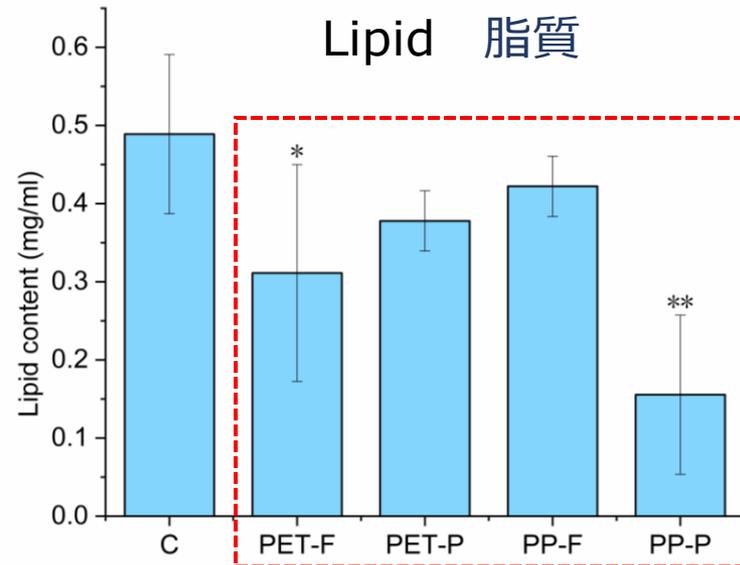
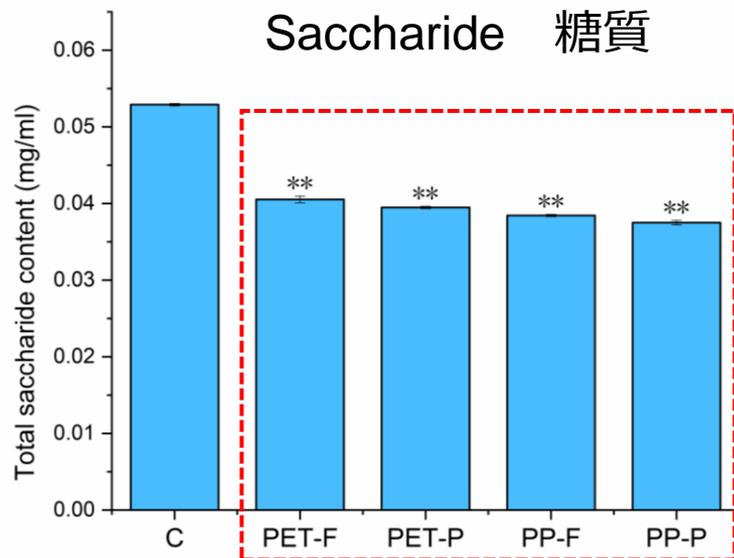
● 成長率と種存在量



- MPs (PPとPETの両方) は10 mg/Lの濃度で、**微細藻類群集の成長にわずかにランダム (randomized) な影響を及ぼした**。繊維は破片より群集の成長を阻害した。
- MPsの存在は、*P. Malhamensis*の増殖には有利で、*P. Kessleri*と*E. viridis*の増殖には不利であった。これは、**MPsが生態系の種構造を変える可能性を示している**。

群集全体への影響-2

● 糖質、脂質、タンパク質含有量



P. Kessleri細胞:糖質が減少した証拠

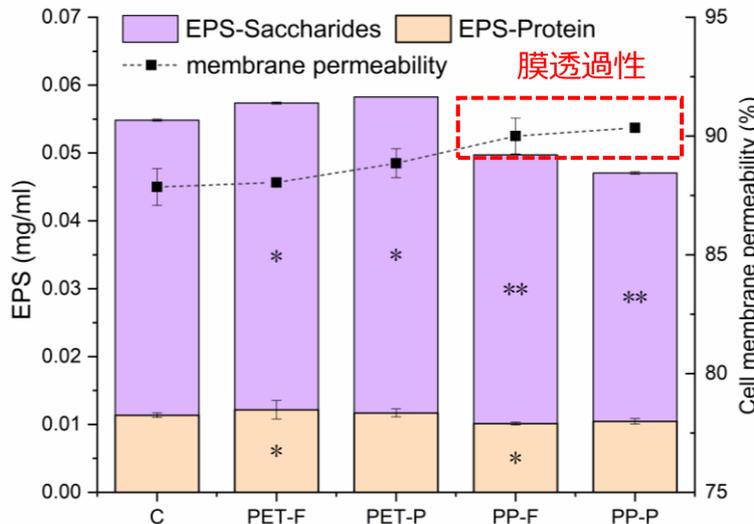
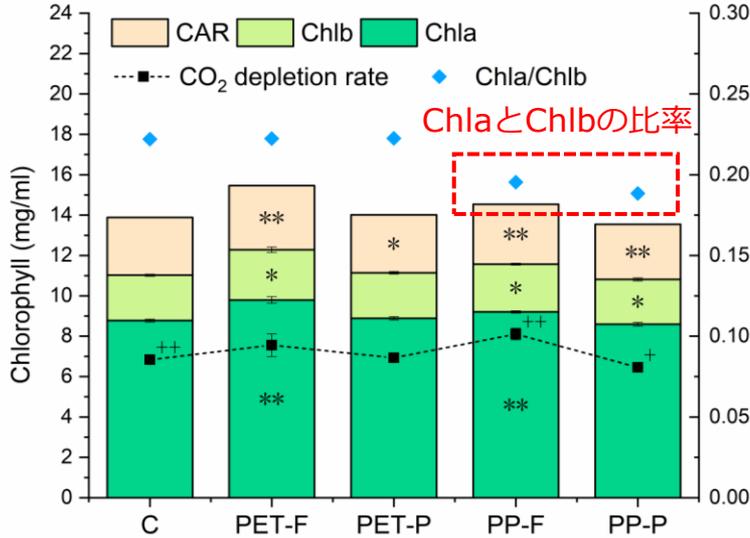
- MPsは微細藻類群集の糖質と脂質含有量を著しく減少させた。
- TEM微細構造から、PET-F処理グループの細胞ではデンプン顆粒が減少し、一方では原形質分離が起きていることがわかった。



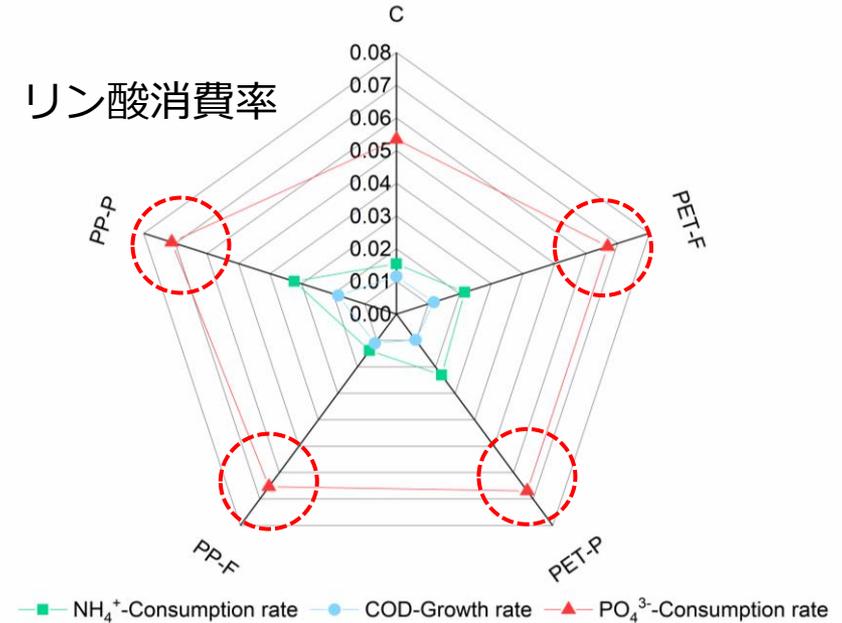
さらに光合成パラメータと細胞膜透過性を調べる必要がある。

エネルギー代謝における細胞外の影響

● 光合成と膜透過性



リン酸消費率



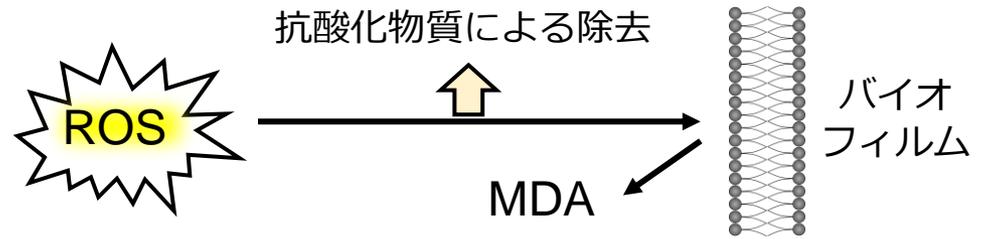
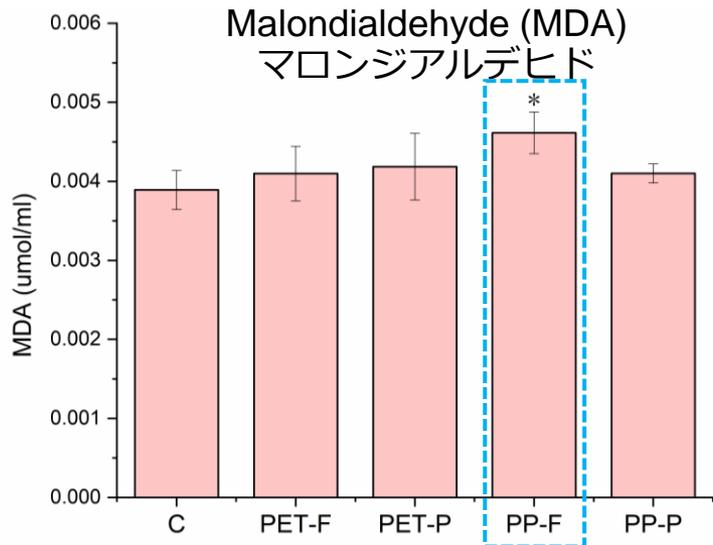
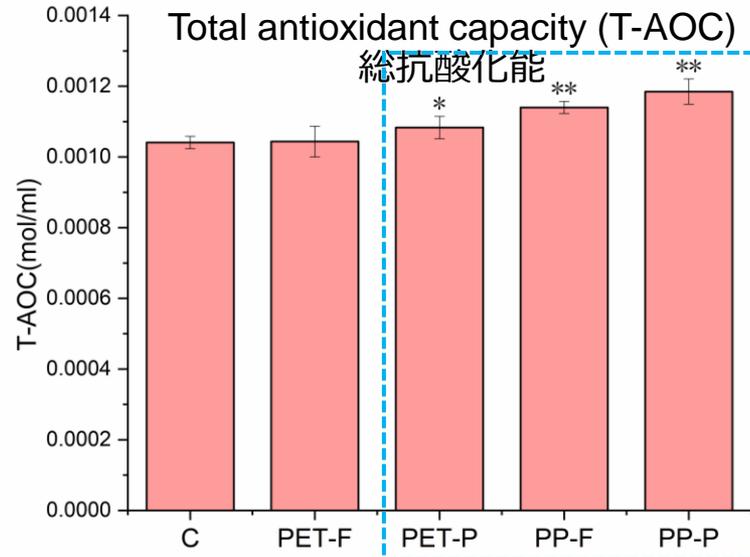
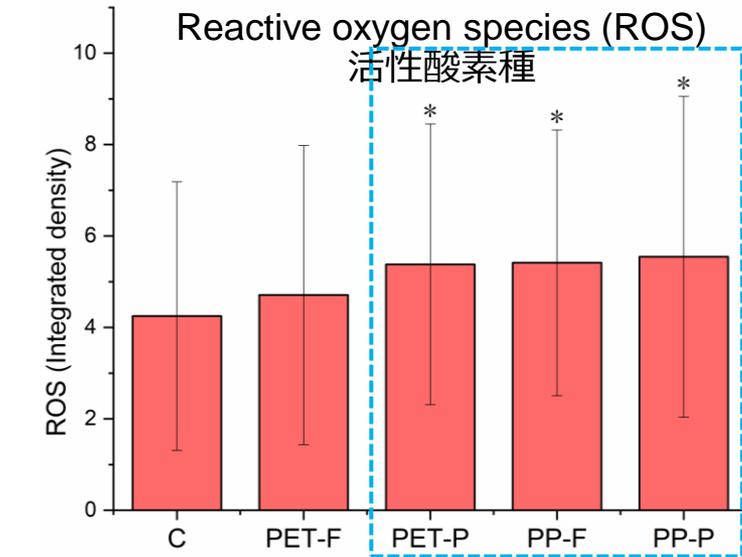
- PP-F/-P処理グループの微細藻類は、Chlbの量を増やすことで弱い光環境に適応した。
- MP処理グループのリン酸消費率が対照グループより増加した。
- PP-F/-P処理グループの膜透過性が対照グループより高かった。



- 遮光効果が糖質減少の唯一の理由ではない。
- 膜透過性の変化は細胞内作用に関連する。

エネルギー代謝に対する細胞内の影響-1

● ROS, T-AOC, and MDA



- PPとPETの破片は微細藻類細胞の酸化ストレスを引き起こした。
- 細胞は、過量の活性酸素を除去するために抗酸化力を向上させた。
- PP-F処理グループ以外は検出可能な膜損傷がなかった。

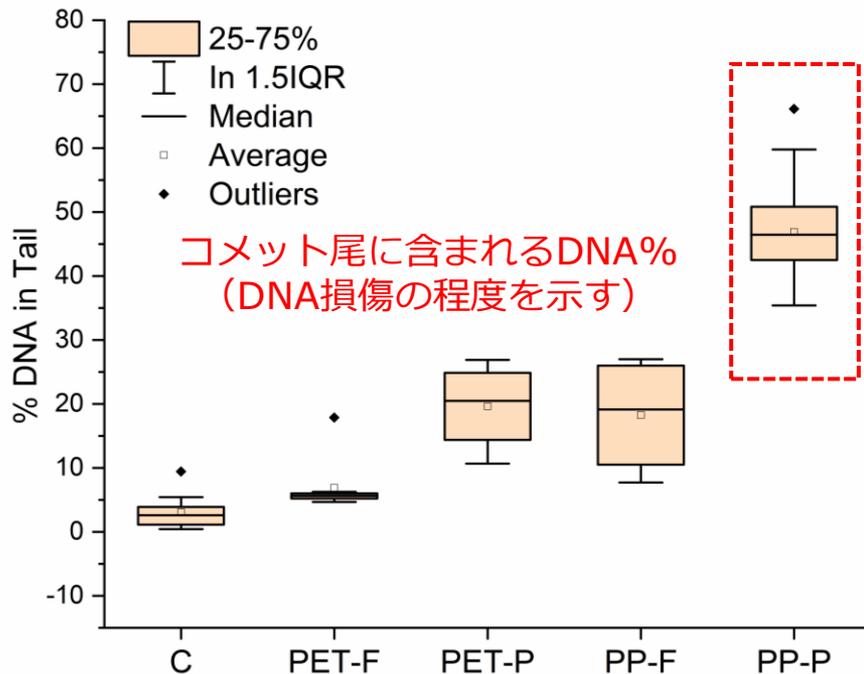
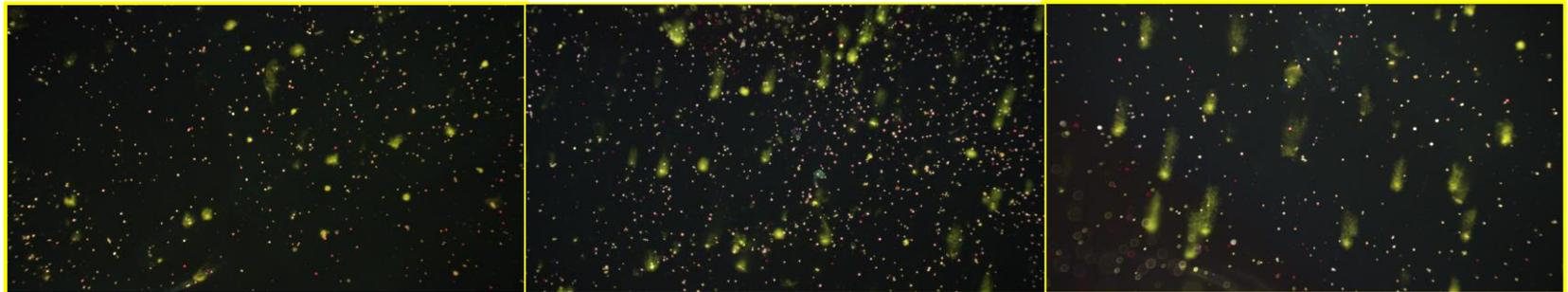
エネルギー代謝に対する細胞内の影響-2

● DNA損傷（コメットアッセイ）

対照

PET-P 処理

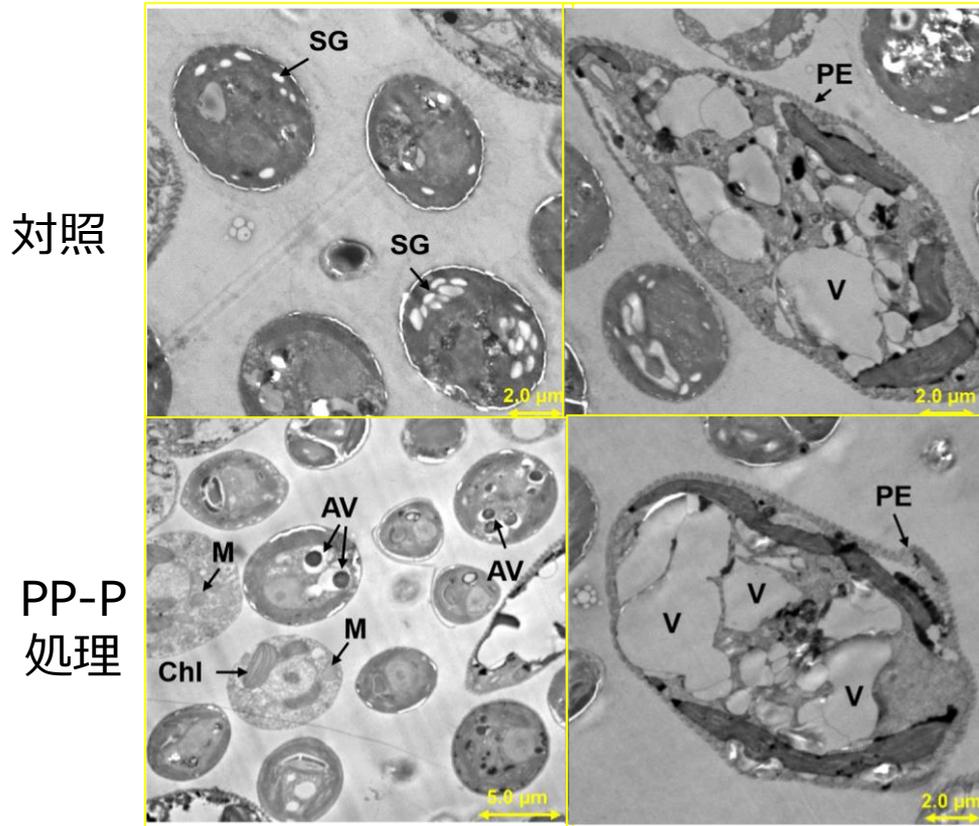
PP-P 処理



- 対照グループでは顕著なDNA損傷が検出されなかった。
- PET-F、PET-P、PP-F処理グループでは、軽度のDNA損傷が検出された。活性酸素による酸化損傷と推測される。
- PP-P 処理グループでは、著しいDNA 損傷が検出された。これは、内部酸化損傷と外部MPの影響（添加剤など）が複合的に作用した結果だと考えられる。

エネルギー代謝に対する細胞内の影響-3

● TEM微細構造



- 液胞は細胞の浸透圧を調節することができる。PP-P処理グループのミドリムシ細胞では、細胞膜透過性の増加により液胞の膨張が引き起こされた。
- 対照グループのミドリムシ細胞は自然なパイク形状を示したが、PP-P処理グループの細胞は収縮し、細胞の活性が低下していたことが示された。
- PP-P 処理グループでは、P. Malhamensis細胞のミトコンドリアが膨張した。栄養形態を変化した証拠（独立栄養から捕食へ）。
- PP-P 処理グループの P. Kessleri 細胞では、オートファジー小胞 (Autophagic vesicles) が現れた。細胞はオートファジー小胞を形成することで、損傷した細胞小器官や高分子を除去する。

結論と展望

● 結論

- ミクロンサイズのMPsは、報告された環境濃度において微細藻類群集の種存在量を変化させることができた。これは、MPsが生態系における生産者の種構造を変化させる可能性があることを示した。
- MPsは微細藻類群集の糖類と脂質の含有量を減少させた。これにより、生産者から他の栄養段階へ輸送するエネルギー・物質の総量を減少させる可能性があることが示された。
- MPsの遮光効果による光合成の阻害と酸化ストレスによる代謝の促進が微細藻類群集の糖質と脂質の減少につながった。
- 本研究では、低濃度のミクロンサイズのMPsが細胞DNA損傷を引き起こすことを発見した。

● 今後の課題

- 低濃度でミクロンサイズのMPsによる細胞の酸化ストレスとDNA損傷を起こす原因を探る。
- マルチオミクス技術を用いて、MPsが微細藻類群集のエネルギー代謝を阻害するメカニズムを明らかにする。



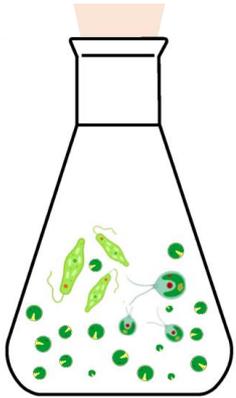
Tokyo Tech

ご清聴ありがとうございました！

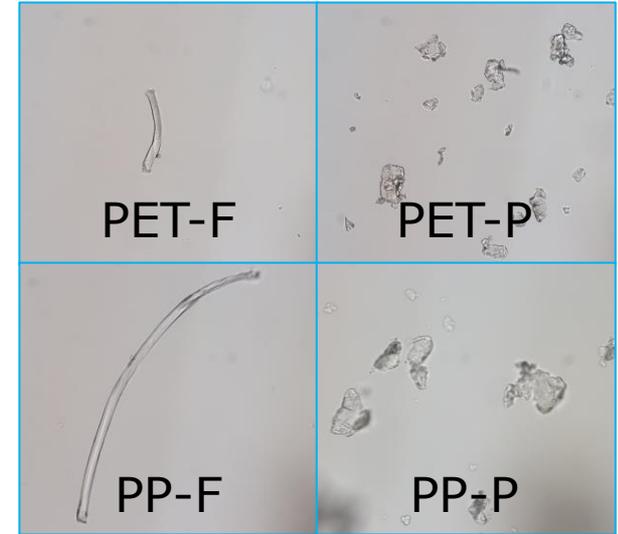


付録

● 実験条件



- MPs : PETとPP 繊維 (300-500×20 μm) 破片(75 μm)
- 培地体積 : 1000 ml
- 実験時間 : 10日
- pH : 6.5-7.0
- 温度 : 25 ± 1 °C
- 照度 : 5500-6000 lx
- 12h/12h (light/dark) cycle
- 初期細胞密度 : 5x10⁴ cell/L



● 分析項目

- 群集全体への影響:
成長率、種存在量、糖質、脂質、タンパク質含有量
- エネルギー代謝における細胞外の影響:
光合成指標、栄養消費量、細胞外高分子物質 (EPS) 、細胞膜透過性
- エネルギー代謝に対する細胞内の影響:
酸化ストレス、DNA損傷、TEM微細構造