

公開シンポジウム 「未来を拓く藻類エネルギー」

日時：2010年3月21日（日）15:00～17:00

場所：筑波大学 総合研究棟 A110（バス停「筑波大学中央」正面）

現在、私たちは地球温暖化とエネルギー資源の枯渇という2つの重大な問題に対面しています。植物などが産生するオイルは、再生可能でカーボンニュートラルなエネルギー資源として注目されていますが、藻類のオイル産生のポテンシャルは陸上油脂植物の10–700倍もあることから、2つの重大な問題を同時に解決できる次世代環境エネルギー資源として非常に注目されるようになりました。公開シンポジウムでは、藻類エネルギー開発の重要性と必要性を示し、現在科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業（CREST）においてエネルギー技術開発プロジェクトを推進している3つのプロジェクトについて紹介します。

講演

- 15:00 – 15:30 藻類エネルギー開発の重要性
- 15:30 – 16:00 炭化水素を産生する藻類ボトリオコッカス
- 16:00 – 16:30 トリグリセリドを産生する海産珪藻ナビキュラ
- 16:30 – 17:00 藻類エタノール増産に向けたシンセティックバイオエンジニアリング

渡邊 信：藻類エネルギー開発の重要性と必要性

今、人類は、その存続を脅かす地球温暖化とエネルギー資源枯渇という重大な問題に直面している。この問題を解決するため、カーボンニュートラルな植物バイオマスエネルギーが注目されている。しかし、陸上植物バイオマスは食糧と競合することや大規模な生産は自然生態系の破壊をもたらすことが懸念されている。微細藻類は植物と同様に太陽光を利用し、二酸化炭素を固定し、炭水化物を合成する光合成を営み、その副産物としてオイルを生産する。藻類のオイル生産効率は陸上油脂植物と比較すると非常に高いことがわかってきている。たとえば、トモロコシの場合は年間haあたり172リットルのオイルが生産されるが、これで世界の石油需要をすべてまかなうとしたら、世界の耕作面積の14.3倍にあたる28,343 M（メガ）haの土地が必要となり、またオイル含有率の高いパームでは、5.95トンのオイルが生産されるが、世界の石油需要をすべてまかなうためには世界の耕作面積の41.3%の土地が必要となる。これに対して微細藻類の場合は、年間haあたり58.7～136.50トンのオイルが生産され、世界の石油需要をすべてまかなうためには、世界の耕作面積の1.8～4.3%の土地が必要となるだけである。このように藻類のエネルギー資源としてのポテンシャルは極めてたかいことから、「Algal bloom again」（*Nature* 2007）の記事の掲載が契機となって、欧米やその他の国では産学連携体制のもとで、政府やベンチャーキャピタル等からの投資による藻類バイオマスプロジェクトが進行している。日本では科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業（CREST）において3つの藻類エネルギープロジェクトが実施されている。藻類エネルギー技術が開発されたときには、人類は、地球温暖化と石油枯渇の問題からは解放され、完全な炭素循環社会へ移行できる可能性が見えてくるであろう。

（筑波大学生命環境）

河地 正伸¹・渡邊 信²：炭化水素を産生する藻類ボトリオコッカス

ボトリオコッカス (*Botryococcus braunii*) は、群体性緑藻の1種で、重油相当のオイルを産生する。多くの藻類は細胞内にオイルを蓄積するが、ボトリオコッカスは細胞外にオイルを分泌、群体内細胞間隙に蓄積することで、オイル含量が乾重量の60%に達することがある。ボトリオコッカスは湖沼、ダムなどの陸水環境を中心に世界各地に分布しており、時に大量繁殖することも知られる。化石燃料のオイルシェールには、ボトリオコッカスの痕跡が認められており、化石燃料の原材料となった生物としても著名である。我々はこれまでにボトリオコッカスや他のオイル産生藻類を対象として、その高度利用のための基盤技術開発を目的として、自然界からの新たな系統収集と保存、そして基礎研究から応用利用に必要な研究を展開してきた。科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業（CREST）においては、ボトリオコッカスのオイル生産効率の一桁向上を実現することを目標として、基礎、応用、工業化の各研究グループに培養試料を提供する培養センター並びに培養株の特性や新たな知見を統合した情報センターを構築して、オイル生産の最適培養条件の把握、高度な品種改良の実現、オイル生成物の効率的抽出法の開発と高度利用法の発見、屋外デモプラントの製作と実証データ取得等を行ってきた。

（¹ 国立環境研究所、² 筑波大学生命環境）

田中 剛：トリグリセリドを産生する海産珪藻類の探索

当研究グループでは、微細藻類を始めとする1万株以上の海洋微生物のカルチャーコレクションを構築してきた。その中で、海水ベースで良好な生育が見られ、中性脂質を高含有することを指標に、バイオ燃料に転換できる中性脂質産生微細藻類のライブラリー化を図ってきた。本研究では、選抜した株の18S rDNA解析、及び生産する中性脂質のキャラクタリゼーションを行った。

中性脂質高生産株として、珪藻 *Navicula* sp. JPCC DA0580 株、緑藻 *Scenedesmus rubescens* JPCC GA 0024 株を選定した。これらの株は、海水ベースの培地において60～73% (w/w) の中性脂質を生産した。ボンベ型熱量計を用いて乾燥藻体重量あた

りの熱量を測定したところ、それぞれ、26.9 MJ/kg (*Navicula* sp. JPCC DA 0580 株), 25.8 MJ/kg (*S. rubescens* JPCC GA 0024 株) であった。これらの値は石炭の熱量とほぼ同等の値であり、藻体バイオマスをディーゼルエンジンの粉体燃料や発電用の固形燃料としても直接利用できることを示唆するものである。さらに、ガスクロマトグラフィー/マススペクトロメトリーによる解析から、*Navicula* sp. JPCC DA0580 株は、パルミチン酸、パルミトオレイン酸を主成分とするトリグリセリド生産株であることが分かった。一方、*S. rubescens* JPCC GA0024 株の含有脂質の主成分は hexadecane や 1-docosene 等の直鎖脂肪族炭化水素であることがわかった。中性脂質の顕著な蓄積、生育における海水要求性を有する本株に対し、これまで報告されている *S. rubescens* が中性脂質の蓄積が認められない点、3% 程度の塩耐性を有するが好塩性ではない点において表現型が異なっていた。

(東京農工大院・工)

近藤 昭彦：藻類エタノール増産に向けたシンセティックバイオエンジニアリング

再生可能資源であるバイオマスを利用し、液体燃料や化学品を生産する「バイオリファイナー」の構築は、持続可能なエネルギーの安定供給に寄与することができる。我々の研究室では、微生物の細胞表層に酵素などの機能性タンパク質を発現させる「細胞表層工学技術」を確立することにより、陸生バイオマスからの糖化および発酵を一貫して行うバイオプロセスを構築し、バイオエタノールやバイオ由来の化学品を生産を行ってきた。一方、バイオマスの供給に目を転じると、陸生バイオマスの場合はどうしても耕地面積の限界や、利用できる水資源の限界が大きな問題になるため、水生特に、海洋バイオマスを利用できれば水資源や耕作における食糧との競合が避けられ、通年の収穫が可能になることから理想的である。

微細藻は太陽光を利用して二酸化炭素を直接液体燃料に変換できる大きなメリットを持ち、近年再びエネルギー源としての利用に大きな期待が集まっている。しかしながら、微細藻を海洋でバイオエネルギー源として利用するためには、光変換効率や物質産性能の向上、増殖速度の向上、クローズドおよびオープンポンド型を組み合わせたバイオリクターシステムの最適化、微細藻類の効率的な分離・回収、高密度大量培養方法、微細藻類からの効率的な標的物質の分離回収方法、等、今後の検討課題も多い。これまで藻類利用に関する研究は米国に先行されているが、世界的に見て海洋性微細藻類の多くについては、その増殖・利用について十分な研究が行われてきたとは言い難い。

そこで我々は、これらのボトルネック問題を解決するために、遺伝子およびタンパク質発現、代謝フラックスの観点から細胞をシステムとして理解するためのシステムバイオロジー解析に立脚して、微細藻類を最適化し、海水環境下で高性能（高増殖能、高光合成能、高デンプン生産能、高耐塩性能）を示す、微細藻・セルファクトリーの創製を目指した研究開発を進めている。本講演ではこうした我々の取り組みについて紹介する。

(神戸大・院・工)

