

藻類研究の目的と開発状況*

Purpose of Algal Research and Its Status of Development

渥美 欣也
Kinya ATSUMI

DENSO works for the preservation of the global environment with its highly efficient microalgal cultivation aimed to absorb CO₂ and accumulate oils for biofuel through photosynthesis. Our goal is to reduce CO₂ emissions and provide a renewable source of energy, as an alternative to relying on fossil fuels. In this paper, we will introduce the status of our microalgal research up to the present date.

Key words :

Microalgae, P. ellipsoidea, B. braunii, Outdoor cultivation

1. はじめに

微細藻類は、地球温暖化の原因となる CO₂ を吸収して燃料に変換する能力が高いため、環境循環型バイオ燃料を実現する素材として注目されている¹⁾。デンソーは、自社の保有する微細藻類“シュードコリスチス”を屋外で大量生産する培養技術から、その油脂生産能力を高めるための育種改良技術に 2008 年より取り組んで来た。本稿では、本テーマを起動した経緯とその研究開発状況について概説する。

2. バイオマスからの燃料化と研究着手

いま、「環境」「エネルギー」に起因する大きなパラダイムシフトが起こっている。自動車のエネルギーは化石燃料からの転換が迫られ、天然ガスや水素、バイオ燃料、電気エネルギーなどマルチフューエル化が進行している。地球温暖化、水資源の汚染と枯渇化、人口爆発による食糧危機、化石燃料の枯渇化など「地球環境問題」に対応する技術開発が今後の重要なテーマとなる。当社は 2007 年から東京大学先端研との「組

織連携プログラム」を活用し、多くの東京大学の先生方と当社が将来を見据えて着手すべきテーマの議論を重ねる中で、「光合成により CO₂ を吸収・固定化し、しかも体内に油を作る藻類」として、「シュードコリスチス」と「ボトリオコッカス」という 2 つの微細藻類の存在を知った。それは 35 億年の歳月をかけ光合成によって地球上において主たるガスであった CO₂ を吸収して O₂ に変換し、私たちが住める環境を創造し、さらにはそれらが海底に堆積し化石燃料になったとのこと。まさに私たち人類の恩人ともいえるものだ。

藻類について、最終的には前者が岩手県釜石市にある「海洋バイオテクノロジー研究所の藏野博士」、後者はボトリオコッカスの第一人者である「筑波大学の渡邊教授」にたどり着いた。早速、副社長（CTO）と藏野氏を訪問、即共同研究を開始する契約を締結した。さらに、2008 年 4 月からは当社に入社していただくこととした。また、渡邊教授の元には当社社員を研究生として受け入れていただいた。Fig. 1 にそれぞれの藻類の特徴を示した。藏野氏の参加により、藻類培養技術に関して当社はゼロから一気に高い技術レベルまで持ち上げることが可能となったため、ユニークな技

*（一社）生産技術振興協会の了解を得て、「生産と技術」Vol.68 No.4 (2016) より一部加筆して転載

術を保持している大学や会社とアライアンスを早期に組んで研究活動強化を図っていくことができた。

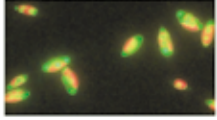
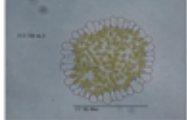
名称	シュードコリスシスチス	ポトリオコッカス
写真		
特徴	植物油相当のオイルを体内に作る。成長速度が速く、丈夫で培養しやすい	重油相当のオイルを体外に作る。オイル抽出が簡単

Fig. 1 当社が取り扱っている微細藻類

3. 藻からバイオ燃料

藻類の中でも大型藻類と呼ばれるものは、すでに、ワカメ、コンブ、ノリなどに代表されるように食用海藻として栽培されている。筆者らが研究開発しようとしている微細藻類は、多くのものが直径 $10\ \mu\text{m}$ 程度の単細胞の生物で、主に無性的に2分裂で増殖する。微細藻類は植物よりも CO_2 固定能力（すなわち光合成能力）が高く生育が速く、陸上植物の10倍に達することが示されている。

その中でも、私たちの手がけるものは炭化水素（＝軽油や重油）や中性脂質（＝植物油）を蓄積する微細藻類である。中性脂質なら現行のバイオディーゼル生産プロセスをそのまま適用できる。また、糖質、特にでんぷんを蓄積する微細藻類であれば、それを原料としたバイオエタノール生産は容易である。

微細藻類によるバイオ燃料生産は、

- ① 食料と競合しない
- ② 植物より単位面積あたりの生産性が高い
- ③ 植物栽培に適さない土地でも利用できる
- ④ CO_2 固定への寄与率が高い

などの大きなメリットを挙げることができる²⁾。

当社で初めて室内培養したシュードコリスシスチスから抽出したオイル（粗油）を Fig. 2 に示す。

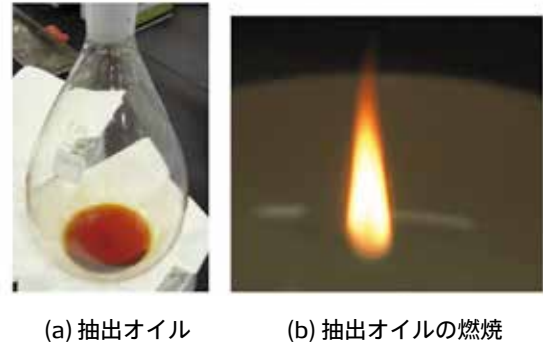


Fig. 2 当社で初めて藻から抽出したオイル（粗油）

4. 世界の動向

2007年当時、海外についても米国と英国を調査した。「藻からバイオ燃料」は当時大きな勢いで研究開発が開始されていた。特に米国は長い歴史があり、ベンチャー企業が20社ほど立ち上がり、100億円規模のファンドがベンチャーキャピタルから降りていた。英国においても国家から大きな資金が投下され、ケンブリッジ大学では10以上の学科で25人の先生が集まり、コンソーシアムを形成していた。

4年後の2011年7月17～20日にかけて、米国にて「藻からバイオ燃料」に特化した学会（1st International Conference on Algal Biomass, Biofuels and Bioproducts）が初めて開催されたが、1ヶ月前には募集を締め切ってしまうほどの人気ぶりで、30ヶ国から研究者が集まった。近年のゲノム解析技術を含めた分子生物学の急激な進歩により、微細藻類の育種改良技術が開発されてきたことが人気の背景にある。これらの研究を牽引しているのが米国エネルギー省（DOE）である。

学会では、米国が藻油を研究する最大の理由は「エネルギー安全保障上の政策および食料と競合しない」点を述べていた。私は科学者、技術者、政策立案者、軍関係者が力を合わせて研究開発を行っている状況を目の当たりにし、米国の一致団結の力強さを実感した。米国は、年間バイオディーゼル生産量として2022年の目標を約4000万kL（大豆や菜種油なども含めて）としていた。なお2010年度の日本国内軽油消費量は約3000万kLなので、この量が如何に多いかを理解できる。

5. 研究の進捗

我々の研究開発戦略の基本はオープン戦略であり、遺伝子研究などの最先端基礎科学からオイル抽出などの工学の部分まで、多岐に渡る研究領域をそれぞれのコア技術を有した大学、企業などとパートナーを組み、早期に実現することを目指した。

5.1 燃料としての可能性実証

Fig. 1 に示した粗油をある程度獲得したのち、FAME (Fatty Acid Methyl Ester) 化を行い、バイオディーゼルに変換しラジコンエンジンで飛行実験を行い成功した。またボトリオコッカスについても、培養で得たオイルを(株)豊田中央研究所と共同で内燃機関を想定した可視化燃焼試験に成功した。筆者らはこの2つの実験の成功で、藻油が実際に液体燃料になることを実感した。

5.2 善明製作所(愛知県)での屋外施設設置

藻の培養に適した地域はサンベルト地帯といわれている。日射量が多く、温暖であることが条件であり、国内では沖縄地域が入る。藻類健康食品を手がけて20年以上になるマイクロアルジェコーポレーションの沖縄県宮古島の施設をお借りして、2009年6月から屋外培養試験を開始した。

ここでの経験を反映して、2010年6月には当社善明製作所内に屋外培養施設を完成させた。特徴は、藻の光合成に工場のコジェネから排気されるCO₂と工場排水を利用すること、さらにコジェネから出る150℃の蒸気で藻を間接的に乾燥させる点にある。5年間実験と改良を積み重ねた結果、連続培養が可能となり、定常的にシュードコリスチスを収穫できるようになった。Fig. 3 に善明製作所の施設を示す。

20m級培養プール3本と10m級2本を300m²の土地に建設した。Fig. 4 は善明製作所にて栽培して回収した藻の約30%オイル入りパウダーである。20m培養槽1本から約3kgのシュードコリスチスを回収でき、そこから約1Lのオイル(粗油)を抽出可能である。最盛期(春から秋)には、それぞれの培養槽で約1週間の周期で回収が行われている。



Fig. 3 当社工場内の培養施設



Fig. 4 収穫したシュードコリスチス
1袋に約3kgのパウダーが入っている

5.3 国家プロジェクトへの応募

この分野の競争力はどのような藻を保持しているかにつくる。筆者らは、藻の遺伝子操作技術の確立をテーマに中央大学原山教授とNEDO事業に提案し採択された。2009年4月から2年間のプロジェクト「軽油生産能を有する単細胞緑藻の転写因子大量発現による生産性向上」である。このプロジェクトで遺伝子情報の解読と遺伝子導入の方法の検討を行った。

藻からバイオ燃料を得るには多岐にわたるプロセス研究が必要で、これも原山教授にプロジェクトリーダーとなっただき、2010～2011年度農水省プロジェクト「革新的なCO₂高吸収バイオマスの利用技術の開発」への応募で、5大学、4企業の連合で提案し採択されて開発が加速した。

5.4 新たな高付加価値品の開発

燃料は低価格で大量に供給できなければならないことは自明である。微細藻類由来バイオ燃料のビジネスが成立するためには、新たな高付加価値品への応用展開も検討しなければならない。筆者らは、副産物を有効に使う検討を前述の農水省の事業で行った。シュードコリスチスの搾りかすを魚や家畜のタンパク源と

して、さらには搾り汁を色素材として給餌の検討を行った。また、シュードコリスチスのエキスがヘルペスウイルスやインフルエンザウイルスに有効な知見も得られている³⁾。さらには、藻の搾りかすがめっきなどの廃液中に含まれる低濃度貴金属（金、白金、パラジウム）を吸着する作用も発見した⁴⁾。Fig. 5 に微細藻類由来バイオ燃料のビジネスを成立するためのコンセプトを示した。

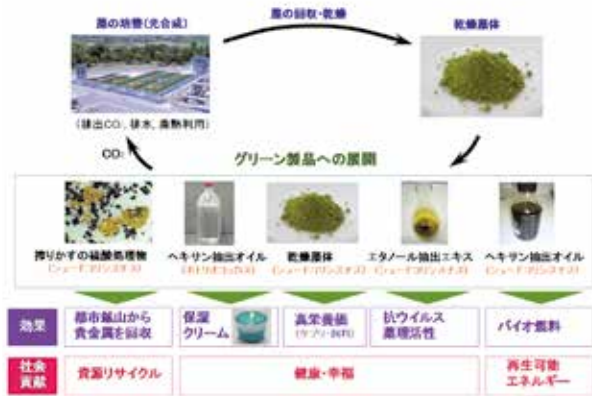


Fig. 5 当社における微細藻類事業の取り組み

6. 現在とこれから

2015年に当社は善明製作所内の屋外培養施設での実証実験後、さらに大きな施設での実証を計画した。温暖で日照時間が長く、しかも地下水の豊富な地域を調査、検討し、最終的に熊本県天草市の中学校跡地に決定した⁵⁾。1haのグラウンドに80m、40m、20m級のレースウェイポンドを建設し、体育館内にラボ施設とオフィスを設置した。Fig. 6 に施設の外観を示す。筆者らはここで大規模培養の課題を解決し、最大効率化した藻類の培養／回収／乾燥システムの構築をめざしていく。



Fig. 6 熊本県天草市に建設した実証プラント

2016年初に開催されたダカールラリーにおいて、チームランドクルーザー（トヨタ車体(株)）にシュードコリスチスから抽出したバイオ燃料を初めて供給した⁶⁾。レースの結果は市販車部門で1位と5位を勝ち取り、筆者らも歓喜した。2017年も同様に供給し、結果は見事1位と2位であった。

今後は、天草市に建設した新たなプラントで生産量を徐々に増やし、色々な場面で使っていただきたいと考えている。また、高付加価値品の開発にも力を入れていくことを考えている。



Fig. 7 ダカールラリーでシュードコリスチスから抽出した藻バイオ燃料を給油するチームランドクルーザーのメンバー

7. おわりに

藻からバイオ燃料は耕作放棄地の利用、農業活性化、エネルギー自給率の向上、CO₂削減などさまざまな切り口で日本経済や環境問題解決に寄与できる可能性を秘めている。しかしながら、最近では研究を先導して来た米国でさえも原油価格の低迷により、経済性を確保するシナリオが描けないでいる。DOEは新たなテコ入れ策として、製造コストを2019年までに1ガロン当たり5ドル以下にすることを目標に2500万ドルの補助金枠を設定し、採択された新たなベンチャーらが果敢に挑戦している。ただでは倒れない米国のダイナミックなしくみには見習うべきものが多い。

8. 謝辞

本研究は、農林水産省の委託研究「農山漁村におけるバイオ燃料等生産基地創造のための技術開発／微細

藻類を利用した石油代替燃料等の製造技術の開発」および NEDO の委託研究「バイオマスエネルギー技術研究開発／戦略的次世代バイオマスエネルギー利用技術開発事業（次世代技術開発）／油分生産性の優れた微細藻類の育種・改良技術の研究開発」の一環として実施しており、ここに感謝の意を表します。また、中央大学理工学部の原山教授の研究室の皆様を始め、研究への協力・支援を頂いた関係者各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) 産業競争力懇談会 2011 年度プロジェクト 最終報告資料,
<http://www.cocn.jp/thema38-L.pdf>, (2016/5/6 参照)
- 2) 福田裕章, 他:自動車技術会, Vol.67, (2013), p.69.
- 3) <http://www.nikkan.co.jp/spaces/view/0019891>
- 4) K. Khunathai et al : J of Chemical Technology and Biotechnology. 87, 393-401, (2012)
- 5) <http://www.denso.co.jp/ja/news/newsreleases/2015/150819-01.html>
- 6) <http://www.denso.co.jp/ja/news/topics/2015/151207-01.html>

著者



渥美 欣也

あつみ きんや

新事業推進部

藻に関する事業企画・推進に従事

