

# 再生可能エネルギー源としての藻類のポテンシャルに関する研究

47-136671

平成 27 年 3 月修了予定 環境システム学専攻 加藤正朗

(指導教員：吉田好邦 教授)

キーワード：藻類バイオマス、再生可能エネルギー、エネルギーモデル、マージナルコスト

## 1. はじめに

地球温暖化や化石燃料の枯渇への懸念から、カーボンニュートラルなバイオエネルギーの需要が高まっているが、供給が拡大していくにつれて食糧との競合が問題となってきた。そこで注目されるのが藻類バイオエネルギーである。

藻類バイオエネルギーは、食糧と競合しない、耕地を必要としない、陸生植物と比べて光合成効率が高等などの利点を持ち、化石燃料を代替する再生可能なエネルギー源として有望であると考えられる。

藻類と呼ばれる生物は、コンブなど大型のものから、藍藻など細菌に属するものまで多岐にわたる。様々な種類の藻類に関して、その特性に応じたエネルギー利用が考えられており、それぞれ研究が進められているが、個々の藻類種の研究に留まり、それらを包括して大局的なエネルギー利用の道筋を考える試みは十分ではない。稲わらや木質バイオマスについては、トータルエネルギーモデルを用いてバイオエネルギーの技術評価を行った研究事例もあるが、こういった研究は藻類ではまだ行われていない。

そこで本研究では、マクロなエネルギー需給の枠組みの中で、様々な藻類バイオエネルギー技術のポテンシャルを評価することを目的とする。特に、異なるエネルギー技術を複合的に利用した場合のシステム効果に着目したい。

研究の流れは以下の通りである。

- I. 藻類のエネルギー利用に関する既往の研究を収集し、エネルギー源として有望な藻類と、得られるエネルギー種について調査を行う。
- II. 調査データをまとめ、藻類バイオマスの生産の特性と、得られるバイオマス及びエネルギー量の関係について定式化する。
- III. 藻類バイオエネルギー生産を組み込んだトータルエネルギーモデルを構築する。様々な条件をもとにモデルの最適化計算を行い、エネルギー源としての藻類のポテンシャルを評価する。

## 2. 藻類とそのエネルギー技術

有望なバイオエネルギー源とその利用技術として、本研究では以下の 6 種類の藻類を取り扱う。

### (1) コンブ

大型褐藻類の一種で、日本にも広く分布している。アルギン酸やマンニトールといった糖を多く含んでおり、発酵させることでエタノールが得られる。

(2) ボトリオコッカス

トレボウクシア藻綱に属する微細藻類。炭化水素（スクアレン）を蓄積する性質があり、これを軽油として利用できる。

(3) ドナリエラ

緑藻綱に属する微細藻類。グリセリン及び脂肪酸トリグリセリドを蓄積する性質がある。脂肪酸トリグリセリドとアルコールをエステル交換反応させることでバイオディーゼルを生産できる。

(4) ミドリムシ

ユーグレナ生物に属する光合成プランクトン。ワックスエステルと呼ばれる直鎖の脂肪酸エステルを蓄積する性質があり、これに水素を反応させることで、ジェット燃料として利用可能なアルコールが得られる。

(5) シアノバクテリア

藍藻とも呼ばれる、光合成を行う細菌。光化学的窒素固定の副産物として、細胞外に水素を放出する性質をもつものがあり、これを回収してエネルギー源とする。

(6) オーランチオキトリウム

ラビリンチュラ類に属する従属栄養性微生物。光合成は行わないが、藻類バイオマス源として扱われることが多いため本研究でも取り扱う。有機物を与えて培養することでスクアレンなどの石油様炭化水素を生産する。今回は、ドナリエラからのバイオディーゼル製造過程で副産物として生じるグリセリンや、微細藻類から油脂や炭化水素を抽出した残渣を、栄養源として用いるものとした。

本研究では複数のエネルギー技術の複合的な利用に特に着目するため、複合利用によるメリットが期待されるような藻類種とエネルギー技術を選定している。6種類の藻類とエネルギー技術について、想定している複合利用を図1に示す。

この6種類の藻類について、藻類の成長特性、得られるバイオマス量とエネルギー量の関係を、文献データをもとに定式化した。

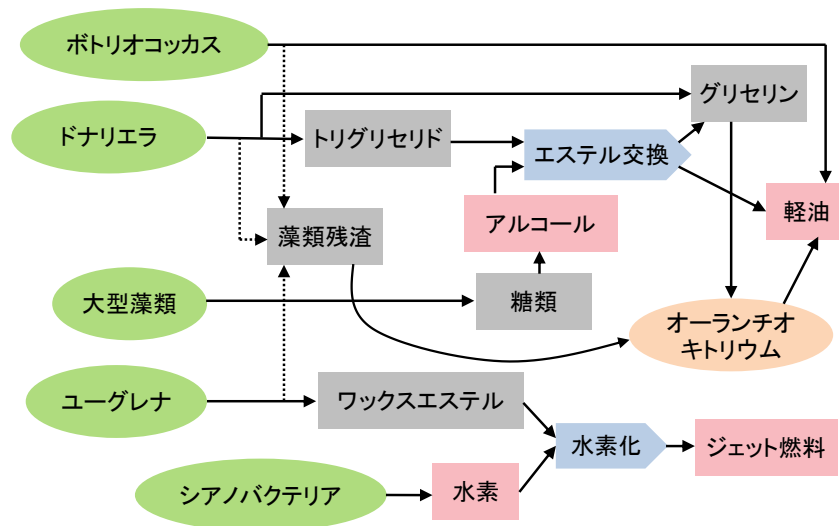


図1 複合利用の概要

### 3. トータルエネルギーモデルの構築

6種類の藻類についてエネルギー源としてのポテンシャルを評価するべく、日本のエネルギー需給構造を模式化したトータルエネルギーモデルを構築した。モデルは一次エネルギー源から各種エネルギーを生産して需要側に供給するエネルギー生産セクターと、部門別のエネルギー需要を表す家庭、業務、産業、運輸の各消費セクターからなり、エネルギー生産セクターに藻類のエネルギー利用技術を組み込む

でいる。エネルギー種は LPG、ナフサ、ガソリン、灯油、ジェット燃料、軽油、重油、天然ガス（都市ガスを含む）、石炭、石炭製品、エタノール、水素、電力の 13 種類を想定した。

藻類からは石油から得られる燃料に近い物質が生産されることが多いことと、

バイオエネルギーには精製工程が必要なことから、石油精製についてのモデル化は特に詳細に行った。また、水素は直接エネルギーとして利用することはないが、石油やバイオエネルギーの精製用、及び工業原料としての消費をモデルで表現している。図 2 はトータルエネルギーモデルの概念図である。

2012 年度の日本のエネルギー需要データを各種統計資料から調査し、モデルのパラメータを設定した。数理計算ソフト GAMS を用いて、エネルギーの生産と供給にかかる総コストが最小になるようにモデルの最適化を行う。

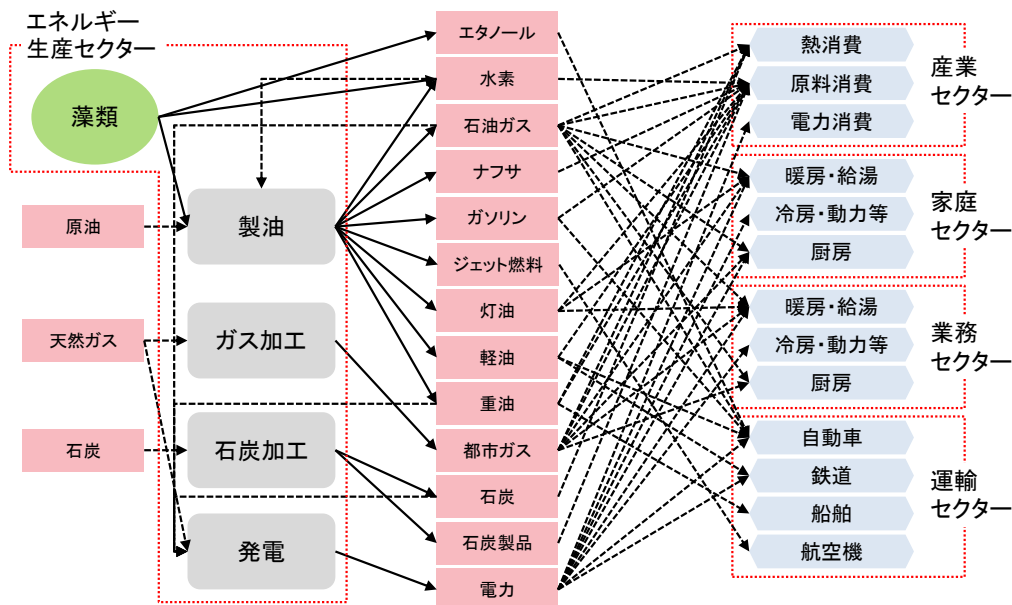


図 2 トータルエネルギーモデルのフロー

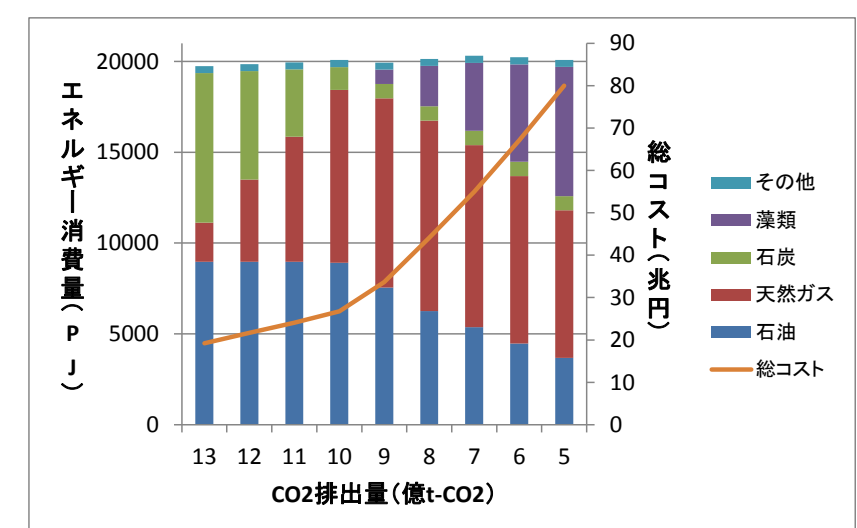


図 3 CO2 排出量とエネルギーシェア、総コストの関係

エネルギー起源の CO2 排出量について制約条件を設定し、その値を変化させながら最適化計算を行った。

結果をみると、CO2 制約の強さに応じてエネルギー需給構造が変化しており、トータルエネルギーモデルは問題なく機能しているといえる。一定以上の強さの CO2 制約条件のもとでは、藻類からのエネルギー生産も導入されることが確認できた (図 3)。

#### 4. マージナルコストの分析によるポテンシャル評価

藻類エネルギー利用のポテンシャルを評価するため、CO2 削減のマージナルコスト、すなわち CO2 排出量を単位量減少させることによる、総コストの変化量を考える。

図4はCO2制約条件を強めていった場合の、マージナルコストの推移を示したものである。グラフが階段状になっており、マージナルコストが小さいようなCO2削減施策から、順々にコストの大きな施策へと移行していることがわかる。藻類バイオディーゼルの導入によってマージナルコストは大きく上昇しているが、導入によって削減できるCO2の量も大きく、高いCO2削減ポテンシャルを有しているといえる。

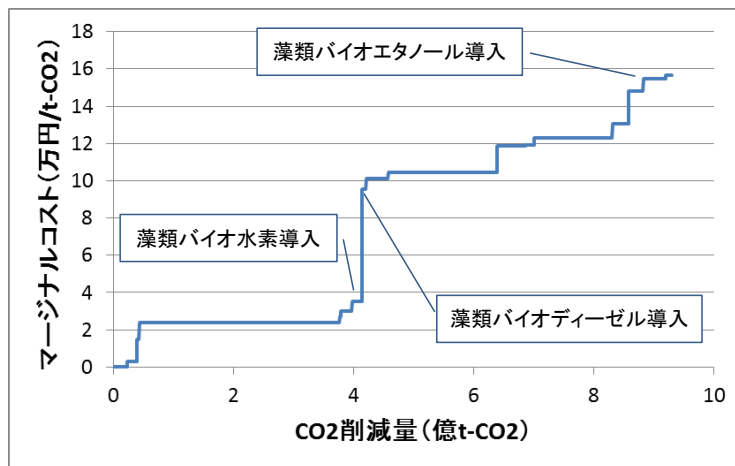


図4 CO2削減マージナルコストの推移

次に、エネルギー技術を複合利用せず、互いに独立に利用できる技術のみを組み込んだトータルエネルギーモデルで同様にマージナルコストの計算を行った。複合利用を組み込んだ場合との比較を図5に示す。

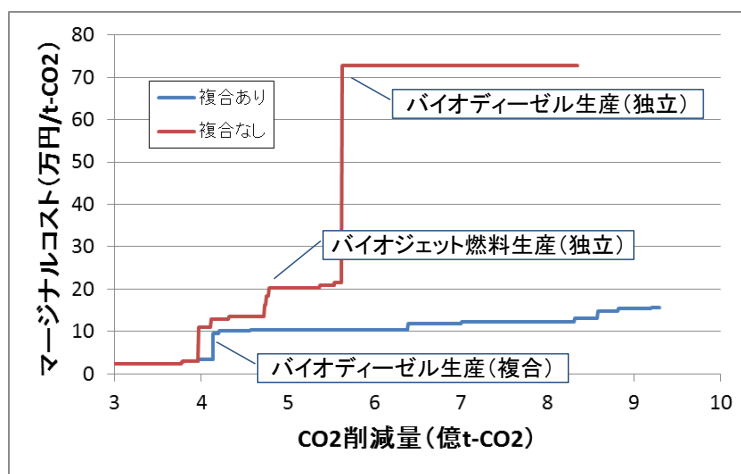


図5 複合利用の有無による比較

複合利用できる場合と比べ、独立利用のケースでは藻類バイオエネルギーのマージナルコストがはるかに高く、施策の優先順位が下がっていることがわかる。また、技術導入によって削減可能なCO2量も独立利用の場合は小さくなっている。

このことから、藻類バイオエネルギーのポテンシャルを最大限に発揮させるためには、異なるエネルギー利用技術を複合的に利用することが不可欠であるといえる。

## 5. おわりに

藻類バイオエネルギーについて、様々な技術研究を調査し、トータルエネルギーモデルに組み込んでそのポテンシャルの評価を行った。CO2削減のマージナルコストを分析した結果、複数のエネルギー技術を複合的に利用することによって高いポテンシャルを発揮できることがわかった。藻類バイオエネルギーの実用化にあたっては、異なるエネルギー技術と併用することによって大きなシステム効果が得られるような技術を、並行して推進していくような政策が求められる。

### 【参考文献】

- ・ T. M. Mata et al., *Renew. & Sust. Energ. Rev.*, **14**, 217-232 (2010)
- ・ 倉橋みどり, 小柳津広志『応用微細藻類学』(成山堂, 2013)
- ・ 石油学会・編『新版 石油精製プロセス』(講談社サイエンティフィク, 2014)