

# 藻バイオマスによる脱原発と温暖化対策の可能性

『The potentialities of denuclearization and global warming countermeasure by utilization of various Algae Biomass 』

橋本正明

『あれ』から1年が経過しようとしている、日本、いや近代文明が遭遇した中でも未曾有の大惨事である。そしてもう一つ、近代文明の肥大する欲望が生み出した巨大な制御しきれないエネルギーを利用する湯沸し器による人災である。

自然災害は避けようが無い。人はそのリスクを許容し、共に生きる術を編み出すしかありえない。しかし人災は違う、『それ』は事前に避けえたはずの多くの悲劇を招いてしまった。にも関わらず今尚それは経済、雇用、さらには地球温暖化の問題を理由に再稼動しようと画策を続けている。人類が許容し切れない巨大なリスクを目先の利益やグローバルな問題にすり替え、地方経済を補助金漬けのままにするのが果たして正しいこれからの復興経済のあり方であろうか。

ここに私は脱原発と産業・雇用の創出、温暖化対策を満足しうる解である『藻バイオマス』による地域資源循環社会の構築を提案したい。

## I. 藻バイオマスとは

ここ数年急速に注目されつつある通常我々がバイオマスとして考えているような有機質分解による反応系とは全く異なる新しい再生可能エネルギー資源である。日本では90年代のニューサンシャイン計画で一定の成果を挙げるものの大量生産の目途が立たず、採算が取れずに座礁してしまった。ところが最近になって欧米を発信源として再び脚光を浴び始めている。以下に代表的な藻バイオマスを幾つか挙げてみよう。

### 1) ボトリオコッカス(Botryococcus braunii :写真1)

ボトリオコッカスは油母(350°Cに加熱すると原油が採れる)を大量に含む頁岩であるオイルシェールに化石化したボトリオコクセンという固有の生成炭化水素が見ついている温帯から熱帯の湖沼に生息する小さな藻類で、太陽光が多い水面に浮上するための浮力を得たり、敵から身を守ったりするために、光合成により重油によく似た油を細胞外へ滲出させる珍しい性質を持つ。2009年にはジェット燃料に混ぜてコンチネンタルエアラインや日本航空の試験飛行に成功したことは記憶に新しい。

昨年夏にはIHI NeoG Algaeにより『榎本藻』という亜種が従来のボトリオコッカスの約1000倍のスピードで増殖すると発表された。これがもし大量生産レベルで実現されれば、収量の大幅アップによるコストダウンが見込め、普及へ大きく前進が可能となる。

### 2) オーランチオキトリウム(Aurantiochytrium limacinum :写真2)

マングローブ林で落葉を分解する葉緑素を持たず光合成を行わない珪藻の1種。沖縄のマングローブ林にて高効率で炭化水素(スクアレン)を細胞内に生成する株が発見され、2010年の末に筑波大の渡邊教授らの研究グループにより藻類の国際学会で発表された。このバイオオイルの生産能力は生成量こそボトリオコッカスの3分の1であるが、スピードは36倍にもなり、トータルすると油の生産能力は約12倍との研究報告があ

る。火力発電に使用する場合はそのままペレット状にして使用することが可能である。また、コスト試算でポトリオコカスが800円每ℓであるのに対してオーランチオキトリウムは約10分の1以下と見込まれ、今後の研究の進展に大きな可能性を秘めている。

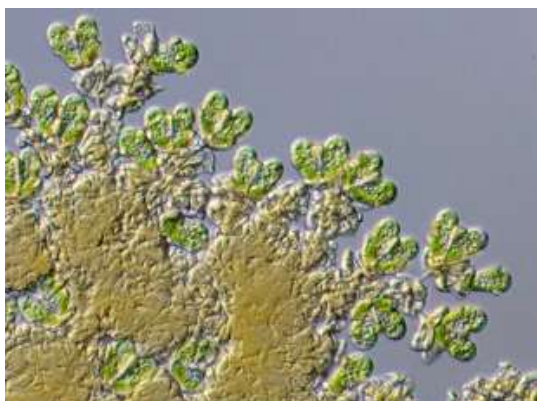


写真1 ポトリオコカス



写真2 オーランチオキトリウム

### 3) その他藻類バイオマス

微細藻類と呼ばれる単細胞を単位生命体とする別名『植物プランクトン』は、クロレラ(*Chlorella vulgaris*) やスピルレナ(*Spirulina platensis*) など健康食品や医薬品としてなじみの深いものから、キートセロス(*Chaetoceros calcitrans*) のような二枚貝の飼料として用いられるものまで、最近では非食用の様々な種類の微細藻類が商業用の研究プラントに登場している。

## II. 発電における石油代替の可能性

国際エネルギー機関(IEA)は今年2月に『日本は原子力発電の不足分を補うだけの十分な石油火力発電による余剰能力を有している』との見解を示した。その推計によると、日本は2009年に石油火力発電能力の30%しか使用しておらず、平均で日量36万バレルの原油・燃料油を使用し、100テラワット時余りの電力を生産したということになる。つまり日量約5万7000klの原油が使われていたことになる。比重を0.95とすれば重量ベースで約5万4000t、年間では $54 \times 10^3 \times 365 = 19710 \times 10^3 \text{t}$  となる。これを満たす藻バイオマスはどのくらいの栽培面積が必要になるであろうか。例えばポトリオコカスの生産能力をha当たり年間1000tと仮定すると、 $19710 \times 10^3 / 10^3 = 19710 \div 2 \text{万ha}$  (約200 km<sup>2</sup>)となる。これは霞ヶ浦の面積(220 km<sup>2</sup>)とほぼ等しい。オーランチオキトリウムの場合、理論値での生産能力はポトリオコカスの約12倍だが、仮に10倍とすると約2000haで済む計算となる。

さらに幾つか計算をしてみよう。2008年の火力発電所での石油系燃料の重油換算使用量は $25302 \times (10^3) \text{kl}$ 、先ほどのように重量換算すると $24037 \times (10^3) \text{t}$  である。これを代替するポトリオコカスの必要栽培面積は約2万4000haとなる。一方で石炭やLNGなど非石油系燃料については同様にオーランチオキトリウムで代替してみよう。そうすると重油換算した使用量は $115191 \times (10^3) \text{kl}$ 、重量ベースでは $109430 \times (10^3) \text{t}$  となり、必要な栽培面積は約1万1000haと推計できる。実際の可能性としては石炭火力に対し

てオーランチオキトリウムペレットによる微粉炭代替であろうか。石炭は2008年実績で $84205 \times (10^3) \text{t}$  が消費されており、その熱量はC重油の64%に相当するので、 $84205 \times (10^3) \times 0.64 / 10^4 = 5389 \text{ha}$ となる。理由は後述するが、仮に全国に延べ約8400ha(平成16年時点)ある下水道処理場の64%にてオーランチオキトリウムを生産できればカバーできる数字である。

現在、停止原子力発電の代替は余剰石油火力発電設備の再稼働(老朽火力と報道されている)で賄えている状況であるが、問題は高騰する燃料費と二酸化炭素排出量の増加である。ここで可能な限りの化石燃料を藻バイオマスで置き換えることにより、真にクリーンなエネルギーを利用すると同時に国内でのエネルギー資源の生産となりエネルギーの自給率の向上にもなる。あくまでも皮算用的な試算との御批判もあるかも知れないが、数値へ変換するといかに『藻バイオマス』が有望なエネルギー資源たり得るかが一目瞭然である。

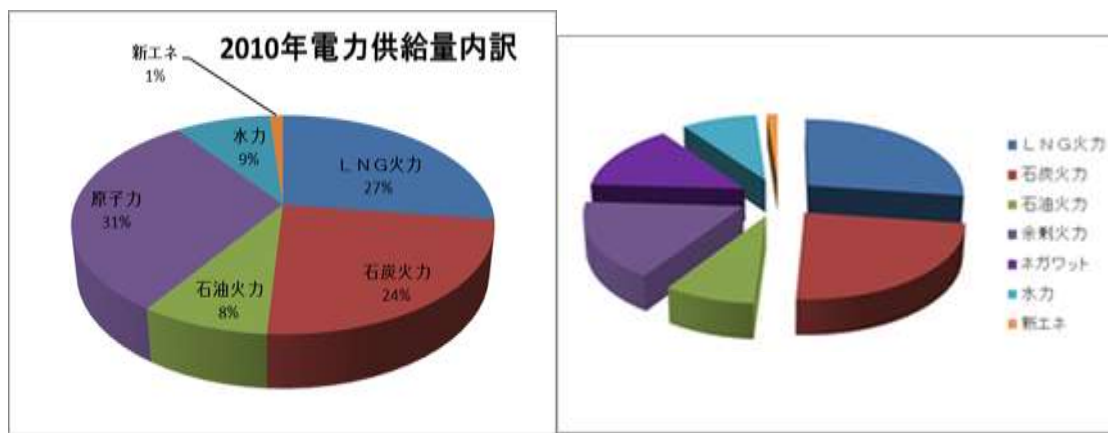


表1 震災前年電力供給比率

表2 余剰石油火力設備+15%節電=原子力

現在においても下水汚泥を焼却生成したペレットを石炭火力発電設備へ10%の比率で混焼させる事は一部のプラントで既に試験済みであり、これらのバイオオイルをゴミ焼却処理=廃棄物発電の助燃剤としての利用をその普及の第一段階として行い、次に現在ほぼ6割を占める日本の火力発電のカーボンフリーな燃料として重油をはじめとした化石燃料の使用を最終的にはバイオオイル、木質バイオマス、バイオガスなどで完全に代替することを目指してはどうだろう。現在クリーンコールやシェールガス、メタンハイドレートなどがCO<sub>2</sub>削減技術の有望株として列挙されるが、いずれについてもカーボンフリーではなく、その利用は過渡的な利用に留めるべきである。そして将来的には性質上、オーランチオキトリウムは石炭火力の代替、ポトリオコッカスは石油火力の代替候補として考えてもよいのではないだろうか。

### Ⅲ. 今後の技術展開の方向

アメリカの実験プラントではフォトバイリアクターといった閉鎖系大型培養装置で火力発電所の排気に含まれるCO<sub>2</sub>を利用した実績があるが、開放系のオープンポンドよりも高価な上に100m<sup>2</sup>以上の装置としてのスケールアップが困難であることが足枷となってしまっている。これに対して燃料としてのみではなく多糖類、タンパク質、カロテノイド、スクアレンといった高価値の副生成物を産生し全体として経済的に成立させるバイオリファイナリーという概念が生み出され、複合的な採算性に基づいて産業ベースに乗せようという試みが進んでいる。

一方、日本では下水汚泥の嫌気性処理のバイオリクターとしてオーランチオキトリウムと混合で利用することが考えられており、既に宮城県では仙台市の南蒲生下水処理場において実証研究が始まっている。これは都市部や被災地における新しい農業生産系バイオマスプラントや新しい漁業・林業の産業・雇用の創出の手段として非常に有効であると考えられる。

### 1) 農林水産業への展開

仮に全国に延べ約8400ha(平成16年時点)ある下水道処理場のうち4分の1にてオーランチオキトリウムを生産すれば、2008年実績での日本の発電における石油使用量の大部分を網羅できる。それだけではない、水産加工残渣も利用可能な重要な資源と成り得るし、海岸林由来の木質バイオマスはセルロースを加水分解して糖へ変換して活用できる。元々が汽水域の激しい環境下で生存してきた種であるため、多少の塩分は問題無いであろう。食物と競合しないという部分を強調すれば、更に農業においては農産物残渣や稲わら、畜産業では畜産加工残渣やし尿の利活用、家庭部門においては家庭由来の生ゴミやし尿も資源とし、地産地消の動力や暖房や車両用の燃料として使用すれば、二酸化炭素の排出量を削減する絶大な効果をもたらすことにもなる。

農林水産業の新しい雇用策としてはどうだろうか。林業の間伐材処理の副産物としての応用のみならず陸上養殖の技術を転用することも考慮すれば、新しい林業の形態の可能性が拓け、富栄養化してしまった湖沼の浄化システムとしては漁業・農業双方にとってメリットがあるばかりではなく、副産物が燃料であれば産業のコスト削減にも大いに付与し活性化につながるのではなかろうか。純粋に農業としてポトリオコッカスの栽培を、例えば福島県の放射能により作付けを見送りする水田15000haでの栽培ができれば、日本の火力発電の原油使用量の約6割を置き換え、放射能による不耕起やそれによる農業の衰退という問題もクリアできるであろう。

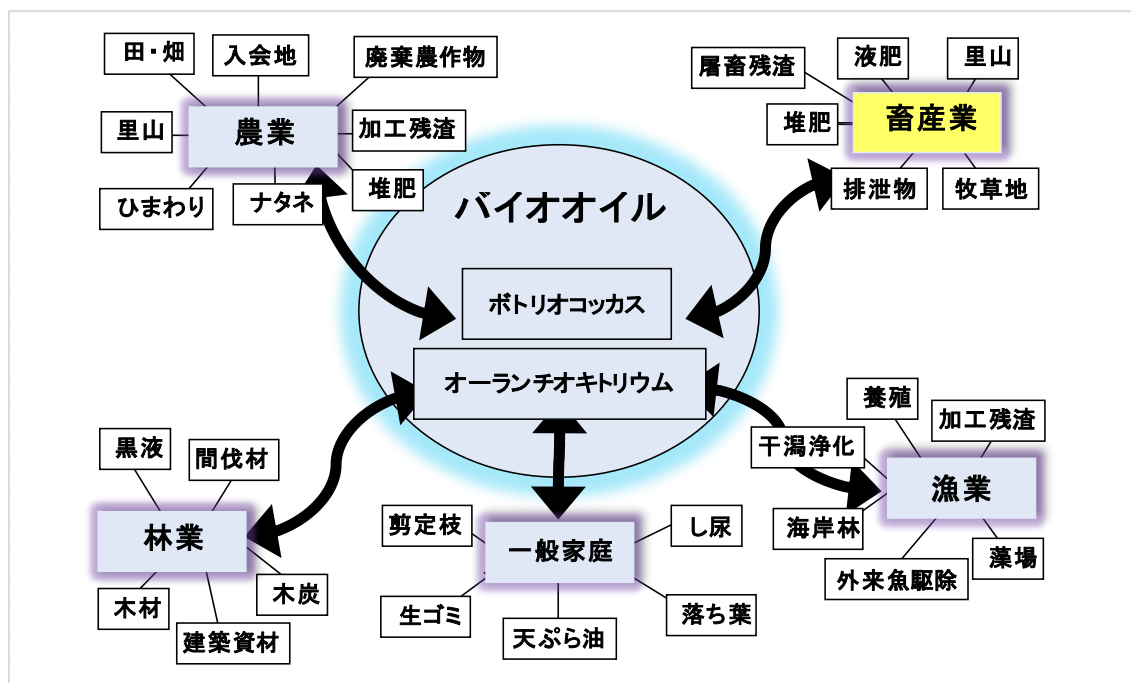


図1 バイオオイルと各産業の相関図

地方が大都市圏へ向けての油田と電源になれば、莫大な補助金を得るために危険な湯沸かし器を再稼働させずに地域経済を潤せる。例えば2012年3月初の原油先物価格は約62300円/kgであるが、これを2010年運輸部門の旅客(乗用車=41600×10<sup>4</sup>t)に適用すると、0.623(10<sup>-4</sup>)×0.95×41600=24.62(億円)になる。実際には関連するインフラを含めることになり、ここに巨大な市場が創出できる。

## 2) 今後の課題・問題点

現在、藻類バイオマスの大量生産は細胞同士の光の自己遮断や精製等の技術的な要因により確立されておらず、オープンポンド等の開放系システムでの異種混入は生産の安定性を損ねかねない。他にも

- ・生産コスト(開放系か閉鎖系で大きく異なる)
- ・大量生産の実績なし(効率的な生産密度など未知数)
- ・オイルの大量回収技術が確立されておらず、困難(高効率化を図るためにはボトリオコッカスの場合、細胞内の油を生きたまま取り出すことが必要)
- ・原生生物への耐性(栄養源の競合や捕食などによるリアクター内での環境劣化)

などが挙げられる。今後はいかに開放系で低コストでの大量生産できるかが普及のカギとなろう。

## IV. 復興のエネルギーへ

福島第1原発の放射性物質により汚染された落ち葉や剪定枝、間伐材については焼却して熱エネルギーを取り出し減容・濃縮・固化させ低濃度廃棄物として最終処分せざるを得ないが、ここに藻バイオマスを閉鎖系システムで投入し、廃棄するバイオマス資源を効率的な輸送・消費が可能なエネルギーへ変換し、新しい林業や農業、漁業に応用できる。また農業補助政策の一環で草刈り機や自家発電装置への利用、さらに法改正により農林業でのトラクターやディーゼル車両への給油ができるようにも検討すべきである。

このような『バイオ=エネルギー・リファイナリー』的なシステムはまず地方自治体が主体者となり初期投資は補助金や助成金を使い、運転資金は地域通貨での循環資源の流通やマイクロ株投資で外部経済から調達の上、速やかな整備を促すべきである。そうすれば産業従事者の雇用を守ると同時に新規の雇用を創出できる。そうすることで我々は一刻も早い循環社会の実現し、人類のみならず全ての生物にとって不必要に過大かつ制御不能なエネルギーを廃止しなくてはならない。

参考資料:

- 1) 渡邊信 編集『新しいエネルギー 藻類バイオマス』みみずく舎 2010
- 2) 緑書房『養殖(aqua culture magazine)』vol607 特集:微細藻類の可能性  
p20~24 微細藻類(マイクロアルジー)が築く未来~有用性とその利用~ 鷲見芳彦、p25~28 微細藻類餌料の養殖種別の活用と培養方法 岡内正典、p29~32 オイルをつくる微細藻類オーランチオキトリウム 彼谷邦光 2011
- 3) 社団法人 日本農芸化学会 編『化学と生物』vol579 解説:バイオ燃料として期待される 微細藻類の炭化水素生合成酵素 岡田茂 2012
- 4) 経済産業省 『ニューサンシャイン計画「細菌・藻類等利用二酸化炭素固形化・有効利用技術研究開

発]最終評価報告書概要]

<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g00523jj.pdf>

5) Wikipedia『ポトリオコッカス』

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9C%E3%83%84%E3%83%AA%E3%82%AA%E3%82%B3%E3%83%83%E3%82%AB%E3%82%B9%E3%83%BB%E3%83%96%E3%83%A9%E3%82%A6%E3%83%8B%E3%83%BC>

6) Wikipedia『オーランチオキトリウム』

<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AA%E3%83%BC%E3%83%A9%E3%83%B3%E3%83%81%E3%82%AA%E3%82%AD%E3%83%88%E3%83%AA%E3%82%A6%E3%83%A0>

7) 島岡隆行・山本耕平 著 『災害廃棄物』 中央法規 2009

8) 志垣政信 著 『廃棄物サーマルリサイクルのすすめ』 リサイクル文化社 2008

9) 日本工業出版 『環境浄化技術』 vol44 特集:バイオエタノール・ディーゼルの最新動向 p6~9 木質系バイオマスからのバイオエタノール製造プロセス 水野秀明 2006

10) 日本工業出版 『環境浄化技術』 vol74 特集:木質バイオマス発電の進展 p1~4 木質バイオマス発電の技術動向 平田悟史 2008

11) 日本工業出版 『環境浄化技術』 vol75 特集:食品系廃棄物の有効利用に関する最新の取り組み p15~17 焼酎粕リサイクル設備 三崎卓也 2009

12) 日本工業出版 『環境浄化技術』 vol98 特集:下水汚泥固形燃料化 p14~19 宮城県における下水汚泥燃料化設備の現状と課題 佐藤稔 2010

13) [http://tsukubascience.com/seibutsu/sourui\\_ga\\_sekai\\_wo\\_kaeru/](http://tsukubascience.com/seibutsu/sourui_ga_sekai_wo_kaeru/)

14) <http://www.tohoku.ac.jp/japanese/2011/11/press20111107-01.html>

15) 環境省 編 『平成23年版 環境白書(循環型社会白書/生物多様性白書)』 p137 藻類による石油資源の代替 平成23年

16) 研成社 『植物の自然誌 プランタ』 vol40 特集:マングローブ p27~35 マングローブの菌類 中桐昭 1995

17) 経済産業省資源エネルギー庁電気・ガス事業部 編 『平成20年度電力需給の概要』 2008

18) 経済産業省 編 『エネルギー白書 2011』

19) 橋本正明 『循環型縮小社会のエネルギー対策について』 循環縮小社会研究会 2011

筆者プロフィール

1968年生まれ、北海道出身。小樽商科大学卒。某建材メーカー勤務。保有資格は技術士補(環境部門)、公害防止管理者大気1種、水質4種、毒物劇物取扱者、シックハウス診断士1級ほか。主な論文は『化学物質過敏症などの不定愁訴疾患の発症機序と新しい対処手法に関する仮説』(2011)、『環境保全・回復における新しい経済的解決手法(緑の株式)の提案』(2011)、『災害に強い非常用エネルギー供給システムづくりへの提言』(2011)、『再成長のための循環型縮小社会の形成についての三つの提言』(2011)、『循環型縮小社会のエネルギー対策について』(2011)など