

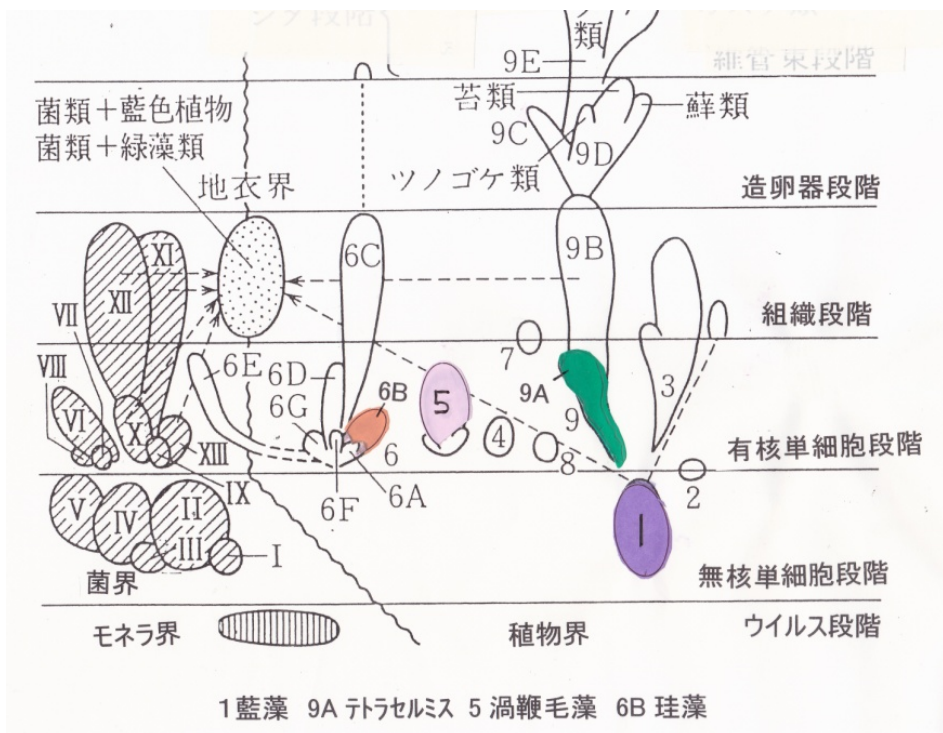
2. 微細藻とは

(1)何か？

微細藻とは何だと考えてみるのですが、目的とするところが、物質と生命の循環に微細藻がどう関わるかを考えるとすれば、今日現在微細藻はこんなものだと認識するより、今後微細藻がどうなるか、なぜそうなるかが重要な気がします。微細藻(植物プランクトンとも言う)は、水中に漂う小さな植物のようですが、地上の生き物、植物と動物と微生物の世界は、今でこそ全く違うものに見えますが、およそ 46 億年前、地球が誕生した時には、生き物は全く存在せず、何かのはずみでできた一つの生命から物語が始まるとすれば、その後現れた生物とは兄弟のようなもので、時間の経緯とともに変化し、その間自分たちが作り上げた環境変化と相俟って今の姿を作り、まかり間違えれば元の姿に戻るかもしれず、簡単に議論できる話ではないかもしれません。

およそ 27 億年前、最初の微細藻が生成した時、大気の組成は炭酸ガス 3,000ppm、窒素 99%、酸素 1ppm であつたらしい。(ガイアの時代、J. ラブロックより)爾来 27 億年微細藻は今日まで生き残ってきた植物です。この世で最も環境変化に強い生物です。

下の図は岩波生物学辞典の抜粋です。植物の進化を示しています。



分類上はシアノバクテリア(1 藍藻)から始まり、プラシノ藻テトラセルミス(9A)や、珪藻(6A)に分岐し、近傍に渦鞭毛藻(5)がいます。菌類は左下に位置します。

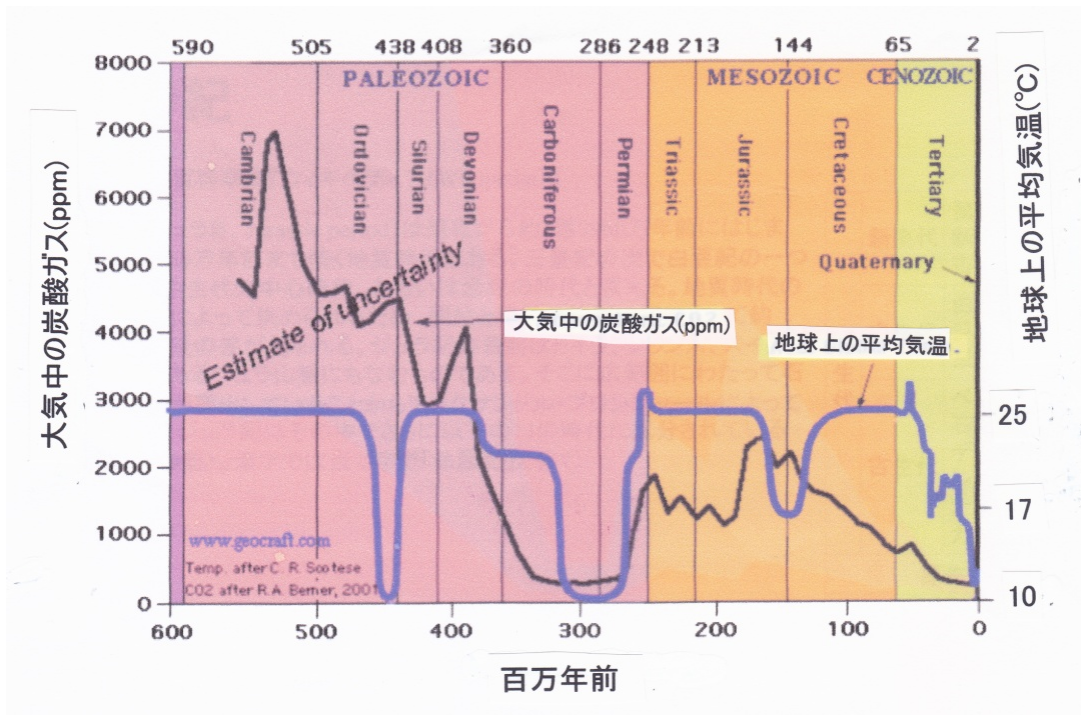
シアノバクテリア、テトラセルミス、珪藻は光合成しますが、シアノバクテリアは窒素固定能力を持ちますが、テトラセルミス、珪藻は窒素固定能力を持っていません。初めにシアノバクテリアが出現し、地球上に酸素を蓄積させると同時に自身が窒素固定能力を持ってアミノ酸を作ってきたところで、海水中にも

窒素が蓄積され、自身は窒素固定能力を放棄し緑藻や珪藻に進化しました。

微細藻の特徴についてお話する前に微細藻が育った環境について調べます。下の図は、過去 6 億年の地球環境の変化です。変化は驚くべきもので、平均気温は 10 数°Cから 25°Cまで変化し、この間 2 度の氷河時代を経験、大気中の炭酸ガス濃度は現在の 350ppm から最高 7,000ppm を記録し、さらにこの図には表現されていませんが、酸素は地球が誕生した時の 1ppm から現在の値 21%まで変化、さらに窒素に至ってはシアノバクテリアが出現した 27 億年前の 99%から現在の 78%まで変化しました。

そのような環境の中で微細藻が生き続け今日に至ったことは驚くばかりです。

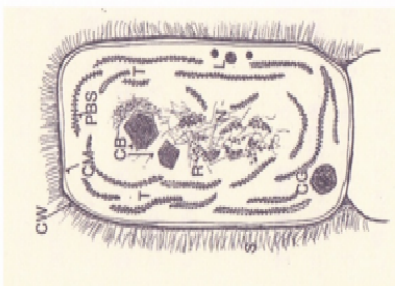
(www.geocraft.com より)



ここで微細藻の特徴をまとめると次の通りです。;

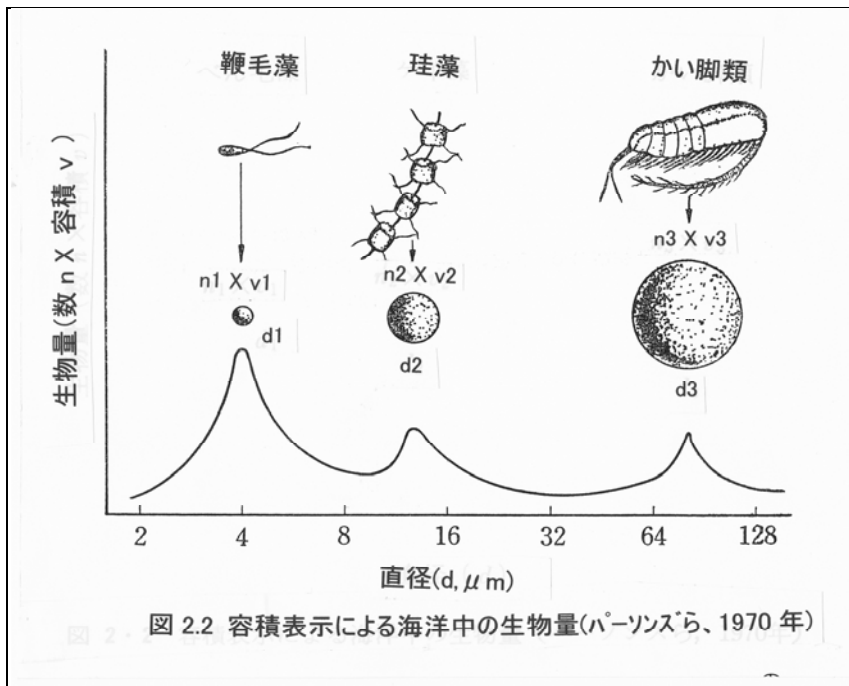
種類が多い / 小さい / 生産性が高い

もう少し微細藻について調べる必要がある気がします。



左は藍藻です。単細胞、筏のように繋がったものなど居ます。細胞壁(CW)があり、鞘(S)が覆っています。細胞膜(CM)の内側に、光合成色素はチラコイド(T)に存在します。炭水化物粒(CB)、脂肪粒(L)が光合成産物を蓄えます。藍藻は原核生物で核はなく、核様物質(N)が中央に集まっています。細胞数 70 兆個のヒトも 1 個の藍藻も夫々生き物です。24,000 種の微細藻が存在します。(海の微生物より)。

種類が多い / 小さい / 生産性が高い



鞭毛藻を含めたプランクトンの直径と生産量を上図に示します。(「海の微生物」より) このうち、微細藻といっているものは数 μ から数十 μ のものですが、この小ささが第2の重要点です。ゆで卵を二つに割ると、割れ目の分だけ表面積が大きくなります。海に浮かぶものは小さければ小さいほど表面積が大きくなり浮き易くなります。光合成をする上でも有利です。先に超小型の光合成反応器であると言ったのはこの意味です。栄養塩を吸収するのだって同じことです。

種類が多い / 小さい / 生産性が高い

食物連鎖とは、実質的に捕食の頂点にいる動物に至る捕食の連鎖のことですが、微細藻はその連鎖の一次生産者です。木と草と微細藻と生産性の比較をしたことがあります。ここで生産性とは同じ面積で光合成をした時の、光合成産物の量を意味します。

先に、微細藻は生産性が高いと言ったのは光合成効率を意識してのことですが、微細藻はそれ自体が高効率の光合成反応器で、培地から細胞膜を経て直接栄養塩を取り込むことを述べたものです。木は根から水を取り込み、幹を経て葉まで運ぶなど、造作が複雑です、その分木の特定の部分を目的とする場合生産量が少なくなります

もう一つ重要なことがあります。これまで植物が育つ環境について色々述べてきましたが、論点は大気中の炭酸ガス濃度です。微細藻は27億年前に出現しましたが、その時点で炭酸ガス濃度は5,000ppm程度で、その後最大値7,000ppmを経て今日の350ppmまで大幅に変化しています。

一方窒素濃度に関しては、27億年前の99%が現在の78%まで順次減少しています。広範囲の炭酸ガス濃度に対応して現在に至っています。

特記すべきことが2つあります。一つは大気中の炭酸ガス濃度、もう一つは海水中の反応性窒素(N_R)濃度です。空気中の炭酸ガス濃度が高くなると植物の生産性が向上します。恐竜時代に巨大なシダが繁茂していたことはご承知の通りです。微細藻についても同じことが言えます。微細藻は大気中から海水中へ溶解した炭酸ガスにより光合成を行います。今後の(温室効果ガス利用のための)微細藻利用に際し培地に炭酸ガスを吸収させ水中炭酸ガス濃度が向上できることは微細藻の生産性向上に大きく貢献します。もう一つは海水中の N_R 濃度の上昇です。海水中の N_R 濃度の上昇は微細藻種の変遷をもたらします。この点は後項で詳しく説明します。

2. 微細藻とは

(2)何ができるか

微細藻で何ができるか調べるために、微細藻とはどんなものか調べます。下の表は微細藻の組成です。海の微生物(長谷川武治、大日本図書)からの抜粋で、スピルリナを追加しています。

種類	有機物細胞乾燥重量%					合計
	たんぱく質	炭水化物	脂質	色素	灰分	
緑藻類						
テトラセルミス	52	15.0	2.9	2.1	23.8	96
ドナリエラ	57	31.6	6.4	3.0	7.6	106
黄色鞭毛藻類						
モノクリシス	49	31.4	11.6	0.8	6.4	99
シラコスフェア	56	17.8	4.6	1.1	36.5	116
珪藻類						
キートセラス	35	6.6	6.9	1.5	28.0	75
スケルトネマ	37	20.8	4.7	1.8	39.0	103
コシノデイスカス	17	4.1	1.8	0.5	57.0	81
フェオダクチラム	33	24.0	6.6	2.9	7.6	73
渦鞭毛藻類						
アンフィザニウム	28	30.5	18.0	2.4	14.1	93
エクスビエラ	31	37.0	15.0	1.1	8.3	92
シアノバクテリア類						
アグネラム	36	31.5	12.8	1.5	10.7	93
スピルリナ	56	15.0	5.0	16.9	6.0	99

この表から見えるところは、微細藻といってもその組成がずいぶん幅広く変化に富むことです。微細藻は食物連鎖の一次生産者ですから、誰かが食料とするというのが目的となります。しかし、24,000種と多様で、植物であるにも関わらず、60%近くもたんぱく質を含むもの、20%近くも脂質を含むもの、各種色素を含むものなど、その用途はいくらでもあります。ただし、現在まで、年産100トンを目安にすると屋外大量培

-4-

養法が確立している微細藻は5種類程度に限られている現状であり、今後の研究開発が必要です。微細藻から何ができるか考える時、大きく2つの分野に仕分けできます。

第一カテゴリー：食料/飼料・餌料/肥料

食料：今後のたんぱく質不足対策に不可欠です。機能材も重要です。

飼料・餌料：海産珪藻は魚介類の減少が急激な今特記すべき素材です。

肥料：窒素固定シアノバクテリアは化学肥料に変わるものとして重要です。

第二カテゴリー：廃水処理/エネルギー

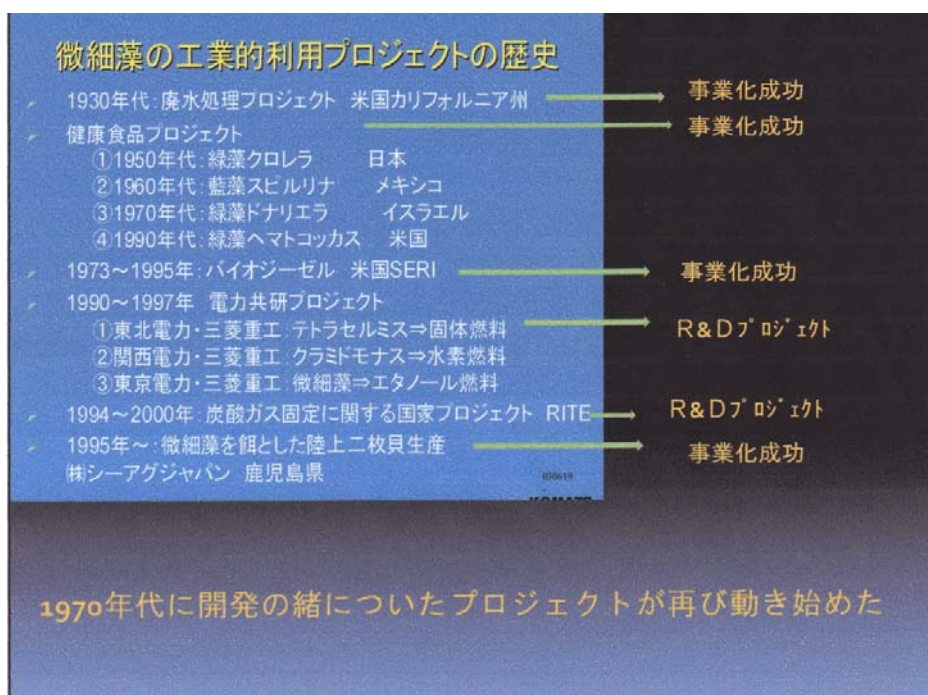
廃水処理：化学肥料の使用量削減の観点から、より高度の廃水処理が不可欠です。微細藻による廃水処理を採用すべきです。

エネルギー：炭酸ガスの削減と相俟って、廃水処理で生産された微細藻は、肥料またはエネルギーとして使用すべきです。

使う側から、微細藻と陸上植物の違いは、微細藻は歴史的に幅広い環境を克服しており非常にタフです。水中の炭酸ガス濃度は（技術的に）上げることができますが、ビニールハウス内の炭酸ガス濃度を上げることにはできません。結論として、木・草・微細藻の戦いは、微細藻の勝と言えると思います。

(3)内外の取り組み

内外における微細藻の工業利用プロジェクトの歴史を振り返ってみましょう。



微細藻の工業的利用は排水処理プロセスから始まりました。1930年カリフォルニア大学のオズワルド教授のプロジェクトです。微細藻の成長には窒素・リンなどの栄養塩が必要です。一方農業廃水や生活廃水には窒素・リンが含まれていることから、廃水処理に微細藻を使うことを思いつかれました。従来より、日

本などでも農業廃水を川に排出してきました。人口が少なく、自然の浄化能力が、十分だったときには、自然の循環の中で当然のこのように、行われてきたことが人口の増加で間に合わなくなり、河川の汚染が著しくなったことは、現在の中国の状況を見ると明らかです。微細藻を用いた廃水処理設備は、今もサンフランシスコ湾周辺多数あり、自然の野池で、流れを工夫し、池の混合を良くして微細藻の成長を促進していたものを、競馬場のように循環式に改めたものが最初の工夫です。ここでは、四季折々色々な

微細藻が育っています。これを混合栽培 (Mixed-culture) と言います。

次に健康食品プロジェクトが始まりました。1950 年、太平洋戦争後の食料不足時代に米国 GHQ(マッカーサー司令部)の肝いりで始まりました。クロレハが日本の発明と知っている方は少ないかもしれません。続いて藍藻(シアノバクテリア)スピルリナ、緑藻ドナリエラ、ヘマトコッカスと続き、ちょっと離れて 1995 年の海産珪藻(微細藻を餌とした陸上の二枚貝養殖)と続きます。最後の海産珪藻は、1973 年に始まった米国のバイオジーゼルプロジェクトから派生して、1995 年当時、フロリダで、すでに始まっていた陸上でのハマグリの子貝生産プロジェクトを日本に導入したものです。上の図でバイオジーゼルプロジェクトは事業化成功と書きましたが、現在も研究開発を継続中です。数年前日航ジャンボがバイオジーゼルで飛んでいます。

参考文献

1. 藤田善彦[ラン藻という生きもの]東京大学出版、1989
2. 長谷川武治[海の微生物]大日本図書、1974
3. 生田義明、講演会:海外における微細藻利用の動向と事業化および今後の展望、2009.
4. 日経紙[新バイオ燃料で大空へ],2009-1-30