

資源・エネルギー・環境問題とバイオテクノロジー

中山大樹¹⁾

1. エネルギーと環境問題

資金やエネルギーを際限無く投入すれば、殆ど何でも出来る。しかし、竹内均博士の試算によれば、エネルギー消費が10年で倍増すると、1974年から60年後には地表に届く太陽エネルギー ($1.73 \times 10^{14} \text{kW}$) の1%即ち気象エネルギーの桁、150年後には太陽が2つ照ると同じになると云う事だ¹⁾。こうなったら、温室効果の比ではない究極の環境破壊だから、人工エネルギー投入に頼る環境対策は問題外と言って良からう。

2. バイオテクノロジーの定義

医療を含む bioindustries の基礎となる技術が biotechnology で、これは生物その物を変える genetic engineering と、生物の使い方を扱う bioengineering から成る。世間ではバイオテクノロジーと云うと、genetic engineering の、そのまたミクロ乃至マクロの適用を連想する向きが有るが、ここでは両方、それもバルクの適用まで含める事とする。

3. 生物の特性

熱力学の法則や平衡定数に縛られる点で、生物に超能力は無い。しかし、現実の系では無数の平衡網がからみ合っていて居り、物事は平衡に達する前に動いて行く。生物は、その中の特定の反応の速度を早める触媒系を作り、しかも条件さえ整えば自己増殖する。その結果、物理化学の法則の大枠の中で、次のような特性を發揮させる事が出来る。

1) 反応の選択性：例えば光学異性体を非生物反応で作る場合、ラセミ体を作ってから、50%未満の収率で分割しなければならず、不整炭素が n 個あれば工程は 2^n 回、収率は $1/2^n$ 未満となるが、生物は、分子量万を超す

蛋白すら1段階の反応、殆ど100%の収率で合成する。謂わば絨毯爆撃の無駄を省きライフル1発で狙い撃ちするような物で、物質及びエネルギーの節約は計り知れない。

2) 常温常圧反応：化学工業の多くは高温高压でおこなわれて居るが、現在知られて居る限り、すべての生化学反応は、100°C 未満、おおむね常圧でおこなわれ、bacterial leaching によれば金属精錬すら熱無しで出来る。これもエネルギー節約に大いに貢献する。

3) 工程の大幅短縮：例えば葡萄糖から化学的にアルコールを作るには、たくさんの反応槽をそれぞれの条件で運転せねばならず、それぞれの廃液が出る。生物法なら、不純な糖液に酵母をブチ込むか、固定化酵母を詰めたカラムに不純な糖液を流し、蒸留するだけでアルコールと一種類の廃液が出る。酵母の細胞の中に1分子ずつ処理するたくさんの反応槽が具えられて居ると考えても良い。つまり生物法によれば多段・多条件の反応が、ミクロの工場即ち細胞内でおこなわれ、人は無数のミクロ工場群に1段1条件を与えるだけで済む。この事も、生産・廃液処理、両面でのエネルギー節約に役立つ。

生物法は原料搬入から製品搬出までセットになった工場を使うような物だから、良いセットを探すのに困難が有ったが、遺伝子操作が進歩した結果、出来合いのセットに頼らずに個々の反応槽を差し替えて好ましいセットを構築する事が可能になって来た。

4) 濃縮作用：近代工業は、糖からアルコール、高品位の鉱石から金属と、濃い材料に濃いエネルギーを投入して高い価値を与えるのは得意だが、空中に0.03%しか無い二酸化炭素から糖、山から鉱石と、薄い物の濃縮に対しては殆ど無能で、このような割合わない仕事は、農業、鉱業等、広義の第一次産業に押し付けて来た。生物は、光合成に象徴されるように、薄いエネルギーを利用して、薄い材料を濃縮する事が得意である。

5) 自己修復、自己増殖：机の脚の傷は、修理しない

1) 山梨大学工学部：〒400 山梨県甲府市武田4-3-11

第1表 地球温暖化問題対策へのバイオテクノロジーの貢献の可能性

項目	非生物法	生物法
省エネルギー	節約、機能材料	常温常圧、高度選択反応
省石油	核分裂・融合、自然エネルギー	太陽エネルギーの高度活用
省焼却	再生技術	生物による生分解素材製造
発生源回収	物理化学処理	炭酸呼吸等
拡散後回収	物理化学処理	石灰化、マリンラグーン メタグリカルチャー
海面上昇対策	無し	氷核細菌による氷山形成加速

限り復元する事は無いが、向こう脛の傷は自然に治る。このように、生物は或る程度の傷害や環境変動に対しては自主的に対応し、また自己増殖する能力を具えて居る。

4. 二酸化炭素問題対策へのバイオテクノロジーの貢献

当面の話題である二酸化炭素問題への直接的な対策に絞って、現状と展望を述べるが、それらの他に間接的な貢献も多いので、纏めて第1表に示して置く。

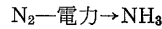
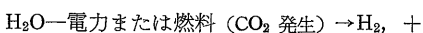
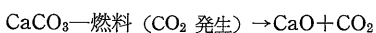
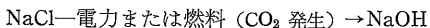
5. 炭酸固定の一般論

炭素は原則として+4, +2, 0, -4の原子価をとる事が出来るが、有機物の場合、計算上の原子価が蟻酸の+2からメタンの-4までの間で、色々に変動する。含水炭素、酢酸、乳酸、グリシン等、生物界によく顔を出す化合物には計算上の原子価が0のものも少なくない。CO₂の場合、炭素の原子価は勿論+4であって、炭酸の固定には、非生物法、生物法の如何を問わず、炭素の原子価を変えない方法と変える方法が有る。

1) 酸化：過炭酸誘導体に導く方法だが、不安定で問題になるまい。

2) 原子価保存：吸着、溶解、液化、固化等の物理的な方法が有るが、これらは最終処理の入口でしか無い。煙道ガスの中のCO₂を可逆的吸着によって濃縮してから、酢酸等に導くとか、液化ないし固化して高圧の深海に投棄する等が考えられるが、いずれにしても最終処理の評価に左右される。

炭酸の酸としての性質を利用して塩の形で固定するのが最も簡単だが、塩基製造の段階で、電力を使ったり、余計に炭酸を出したりする。



唯一の例外は、太陽エネルギーを用いてアルカリ性微環境を作る生物的石灰化である。

3) 還元：理論上は、ダイヤモンド等の単体やカルボニルに導く事も考えられるが、有機化合物に導くのが普通だろう。所謂C-1化学が発達して、炭酸の還元による有用物質の生産に関しても多くの可能性が拓けて来たが、いずれにしても還元反応にはエネルギーの投入が必要である。安くて豊富な炭素源として炭酸を活用する観点なら、それなりに意義が有るが、地球温暖化防止を目的とした炭酸還元の為に火力発電による物を含む電力を投入するのは、本末転倒だろう。生物による炭酸還元もエネルギーの投入が必要な事には変わり無いが、太陽エネルギー等で済む場合が有る。

6. 生物による炭酸還元

すべての生物は、還元性の物質を酸化する事によって得たエネルギーを利用して細胞を作り上げる。酸化と言っても分子状の酸素を使うとは限らず、酸素獲得の為に消費するエネルギーと、酸化の段階で浮くエネルギーとの差額がプラスなら、有機物、硝酸、硫酸、炭酸等の中の化合形の酸素が利用される場合も有る。

従属栄養生物、即ち動物、真菌及び細菌の多くは、出来合いの有機物を酸化する事によって得たエネルギーを用いて細胞を作る。その途中で炭酸を固定する事も有るが、差し引きすれば、一般にエネルギー獲得の段階で発生する炭酸の方が遙かに多い。ここで酸化とは、分子状の酸素を用いる狭義の酸化だけでなく、硝酸呼吸、硫酸呼吸、炭酸呼吸等、化合物から奪った酸素を使う物も含む。勿論、酸素獲得の為に費やすエネルギーより、酸化の段階で遊離するエネルギーの方が大きく、全体としてエネルギーを発生する反応である事が条件となる。

これに対して独立栄養生物は、出来合いの有機物を必要とせず、炭酸を還元して、有機物を自分で作り出す事が出来る。炭酸還元に必要なエネルギーとしては、有機

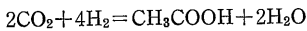
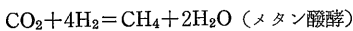
第2表 独立栄養生物による炭酸還元反応

エネルギー	基質	バイオマス以外の生産物
酸素呼吸	$\text{NH}_3, \text{NO}_2^-, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{H}_2$	$\text{NO}_2^-, \text{NO}_3^-, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{4+}, \text{H}_2\text{O}$
亜硝酸呼吸	$\text{S}, \text{S}_2\text{O}_3^{2-}, \text{S}^{2-}$	$\text{SO}_4^{2-} + \text{N}_2$
硝酸呼吸	"	"
硫酸呼吸	H_2	$\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$
酸化鉄呼吸	Fe^{2+}	Fe_3O_4
炭酸呼吸	H_2	$\text{CH}_4, \text{酢酸}$
光	$\text{H}_2\text{S}, \text{H}_2\text{O}$	$\text{S}, \text{SO}_4^{2-}, \text{O}_2$

物以外の還元性物質を酸化して得たエネルギーや光エネルギーを使う事が可能である。細胞構築の段階で、原則として CO_2 が発生するが、少くともバイオマスは残り、差し引きすれば固定される分の方が多いため、独立栄養生物は原則として炭酸固定の為に使える。独立栄養生物と従属栄養生物の区別は絶対的な物ではないが、独立栄養代謝を選びだして仮に並べれば第2表のようになる。

水を用いる狭義の光合成以外は、すべて基質として還元剤を必要とし、その再生にはエネルギーの投入が必要だから、一般論としては魅力が無い。また、電力に頼る通気や、硝酸、硫酸等特殊な酸化剤が必要な上に、微生物の細胞に含まれる僅かな量しか炭素が固定されないのでは、地球環境問題の解決には程遠い。しかし、たまたま廃物として水素が出るような場合は、バイオマス構成成分としてだけでなく、エネルギー獲得の為に炭酸が使われ、通気の為の動力を必要としない炭酸呼吸が魅力的だ。これには、メタン生成菌によるメタン醗酵と、Acetobacterium による酢酸生産が知られて居る。

メタンは CO_2 を上まわる温室効果ガスだし、燃やせば CO_2 に戻るが、酢酸は石油に代わる有機工業原料になるし、生成物の炭素の原子価の関係で、炭酸当たりの水素必要量が半分で済むので後の方が良い。

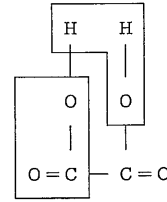


(Acetobacterium 法)

7. 生物による炭酸の無機固定

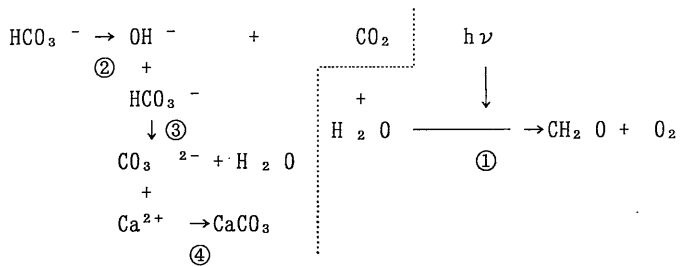
1) 蓆酸塩化：仙人掌、虎杖、酸葉、菠薐草等は蓆酸塩を作る。蓆酸を分解すれば $\text{CO}_2 + \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$ となるから、砂漠に適応した仙人掌等の場合、蓆酸は乾期に備えて光合成の原料としての水を貯える手段かもしれない。

2) 石灰化：貝や蟹の炭酸カルシウムは、餌から来た



二次的な物だが、藻類及びその共生体の場合は、光合成が先行し、太陽エネルギーによってアルカリ性微環境が出来た為に炭酸イオン濃度が高くなり、溶解度積を超えて炭酸カルシウムが析出した物と言う事が出来る。

式で表せば次のとおりで、光エネルギーの作用で①の反応が右に進む事によって炭酸がバイオマスとして固定され、それにつれて②の反応が進んで水中の重炭酸イオンが消費される。一方で③の反応によって更に1個の重炭酸イオンが消費されて炭酸イオン濃度が高まり、カルシウム・イオンが供給される限り、④の反応が進む。



つまり単純な光合成の倍の量の炭酸が固定される。点線から左の反応を取り出して、石灰化が起きると、折角、水に溶けて居た重炭酸イオンの半分が CO_2 となって空気を汚すのではないかと心配する向きがあるが、全反応の推進力は光エネルギーによって炭酸の吸収が起きる光合成の過程で、こちらが先に進むのだから心配無い。

富栄養化した湖沼では、夜は CO_2 の蓄積で pH5 ぐらいに、日中はその逆で pH10 ぐらいになる。細胞内に藻

第3表 藻類及びその共生体による太陽エネルギーに依存した第一次石灰化の例

分類	例	結晶形	備 考
藍藻	Phormidium	方解石	化石のストロマトライトも藍藻
紅藻	石灰藻	"	種類が多く、日本の磯にも豊富
	海素類	霰石	
緑藻	仙人掌草	"	グレート・バリア・リーフ等に多い
	傘海苔	"	美しい傘状
車軸藻		"	バンド状に石灰化する
褐藻	海団扇	"	
Hapto藻	Emiliania huxleyi 等	方解石	coccolith と呼ばれる穴空き円板
共生体	石珊瑚	"	Zooxanthella (渦鞭毛藻) が共生
	軟珊瑚	"	"
	有孔虫	"	渦鞭毛藻, Chlorella 等が共生

類を共生させた珊瑚類や、堅い殻が有る石灰藻等の場合、光合成の結果、細胞液の pH が1日の内に10万倍も変動したのでは、体が保たないので、石灰岩に塩酸を注いで CO₂ を作るおなじみの反応の逆反応に頼って、余分のアルカリを中和する物と解釈する事も出来よう。



第3表に生物による第一次石灰化の例を挙げる。

これら第一次石灰化生物の多くは太陽の光が届く浅海底に住み、石灰藻は食物連鎖によって鮑、栄螺をはじめとする巻貝の殻になる。石珊瑚は仙人掌草と一緒にあって、熱帯、亜熱帯の浅海に珊瑚礁を作り、本来なら波浪で侵食される管の陸地を逆に広げ、小さな海底火山を核として島さえ生む。石珊瑚の中でも菊目石等は本州南部の海にも多い。

軟珊瑚はかなり冷たい海にも居り、連続体としての骨格は無いが、金平糖のような角が生えた棍棒状の美しい石灰質の骨片を持って居る。

底棲の光依存石灰生物の活動範囲が陸の近くに限られるのに対し、Hapto藻や一部の有孔虫はプランクトン性であって、磷、窒素等の栄養塩さえ補給されれば、広大な海面を使いこなす。ハプト藻は3本の鞭毛を持つ単細胞藻類で、coccolith と呼ばれるドーナツ状の炭酸カルシウムを細胞内で作っては外に出して、細胞の表面がココリスで覆われ、北海に空からも見える赤潮状に大発生する事が報告されて居る²⁾。マリン・スノーとなって堆積した有孔虫の殻を主成分とし、ココリス等も混ざったグロビゲリナ軟泥は、高圧海水による自然溶解が起きない4,500 m以浅の広い海のかなりの面積を覆って居る。

8. 光合成による炭酸固定と受光面積

水素等のような還元剤がたやすく手に入る場合以外の炭酸固定は、バイオマス化にしても石灰化にしても、太

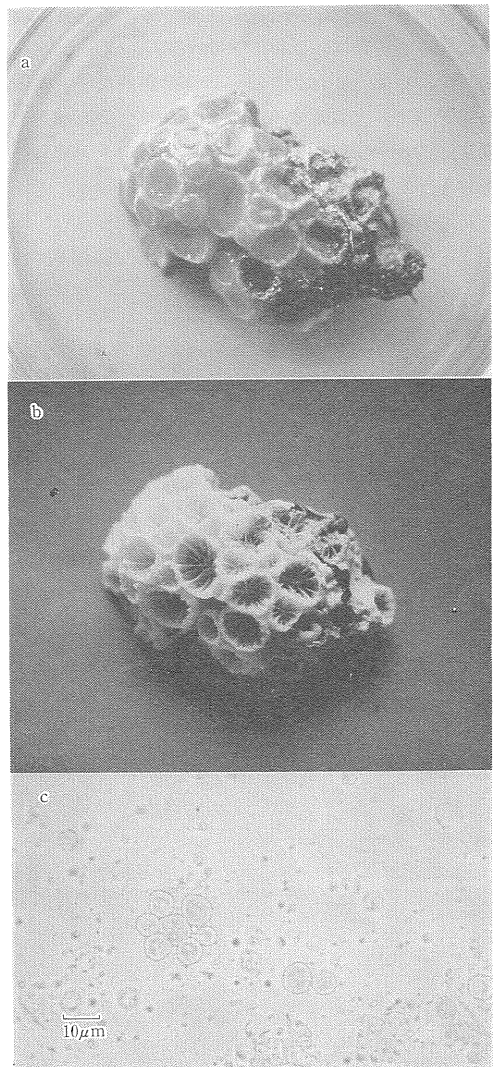


写真1 イボヤギ(石珊瑚, 伊豆雲見にて採取)
a: 動物体 b: 炭酸カルシウムの骨格 c: 細胞内共生藻類

第4表 第一次生産の為の条件

	陸	外洋面	深海底
光 (受光面に比例する)	高くつく	OK	無し
水	灌漑が必要	OK	OK
二酸化炭素	0.03%(0.6mg/l)	90mg/l(陸の150倍!)	左に同じ
微量元素	不足しがち	OK	OK
窒素・磷	施肥により補給	欠乏	OK
鉄	OK	欠乏	OK

陽エネルギーに頼るのが最も現実的であるが、その為には受光面を確保しなければならない。

能率が良い極端な例として *Chlorella* の場合、受光面当たりの固定量は、 $10\text{gC}/\text{m}^2 \cdot \text{day} \div 37\text{g CO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{day}$ の見当で、当面、これより高い効率は望めない。石油の実験式を CH_2 と仮定すると、1日1トンの石油を燃やす場合、 $291\text{m} \times 291\text{m}$ の敷地が必要で、1トンぐらいアッと言う間に燃やしてしまう火力発電所の廃ガスを工場内の池で処理する等は、とても無理だ。

1トンの CO_2 の処理には 0.085km^2 が必要、日本の

CO_2 排出量を $242 \times 10^6 \text{ ton CO}_2/\text{year}$ とすると約 $663 \times 10^3 \text{ ton CO}_2/\text{day}$ であり、その処理に必要な受光面は $0.085 \text{ km}^2 \times 663 \times 10^3 \div 56,000 \text{ km}^2 \div 237 \text{ km} \times 237 \text{ km}$ となり、海なら全く問題は無い。世界全体の CO_2 排出量を $4979 \times 10^6 \text{ ton CO}_2/\text{year} \div 13.6 \times 10^6 \text{ ton CO}_2/\text{day}$ とすれば、これをすべて太陽エネルギーで処理する為に必要な受光面積は、

$$0.085\text{km}^2 \times 13.6 \times 10^6 \div 1 \times 10^6 \text{ km}^2$$

となる。因みに外洋の総面積は $3.26 \times 10^8 \text{ km}^2$ と、2桁上である。海洋の CO_2 吸収容量は大きい物ではないと云う説は正しいが、それは現状を調査・解析する理学の立場であって、潜在能力を積極的に引き出す事を考える工学の立場からは、また別の評価が可能である。

9. 海洋に二酸化炭素を吸収させる戦略

海面に接する大気中の二酸化炭素分圧が高くなれば、ヘンリーの法則により、海に吸収される分がふえると期待するのは甘い。計算通りの平衡状態が物理的に達成され、海水を二酸化炭素の単なる溶媒として使うのではなく、光化学反応による積極的な炭酸固定の為の受光面として活用するには、光合成による一次生産を押し進めるのが現実的だろう。一次生産が進行する為に必要な条件を挙げれば、第4表のようになる。

現在、食糧をはじめとする一次産物の殆どは陸から得られて居るが、実は、海洋の方が一次生産の条件に恵まれて居り、光は海面、窒素・磷及び最近話題になって来た鉄³⁴⁾は海底と、別れて居る事だけが問題ある。そこで、フレネル・レンズで集めた光を光ファイバーで海底に届ける試みや、栄養塩に富む水を海底から湧き上がらせる試みが議論されて居るが、何千メートルもの深海で大規模にそのような事をおこなうのは現実的でない。

窒素と磷は陸上では最も厄介がられて居る環境汚染物質だから、これを活用するのが良いのでは有るまいか？

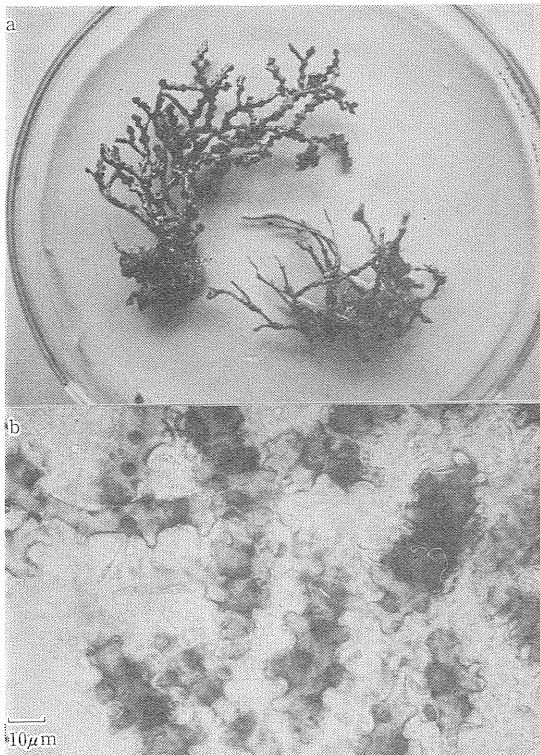
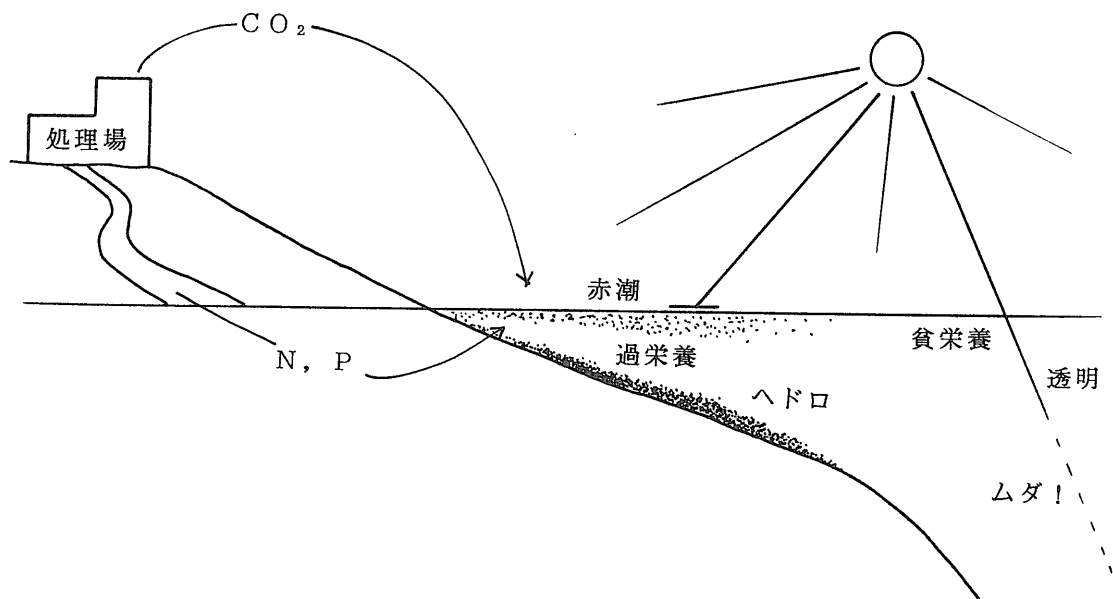


写真2 イソバナモドキ (軟珊瑚, イソバナモドキにて採取)
a: 動物体 b: 骨片



10. マリン・ラグーン

1) 地球の表面：人工的なエネルギーに頼らずに、CO₂を固定するには、有機物の形にせよ、炭酸カルシウムの形にせよ、光を使うのが良い。緯度が同じなら光の量は面積に比例するので、地球表面を見渡すと、第5表のようになり、可耕地の倍の広さの広義の砂漠、特に10倍を超す外洋に降り注ぐ太陽エネルギーを活用するのが良からう。

2) ラグーン：Lagoon は lake と同じ語源で、大きい水体とつながった小さい水体、即ち瀉の事だが、水処理の世界では、廃水処理用の池を指す。今の日本では、下水処理と云うと、豪華な設備を使い、多量の電力を投入する活性汚泥法を思い浮かべるが、太陽の下をゆっくり流すだけで下水は浄化され、BOD も窒素も燐も、プランクトンを経て魚に変わる。一昔前の日本のドブが身近かな例だが、アメリカはオハイオ州の基準によると、

尿尿を含む1人分の下水を中緯度の地域で処理する為に必要な受光面は20m²とされて居る。

3) マリン・ラグーン：1人当たり20m²、100万人なら2,000ヘクタール、例えば5km×4kmの面積があれば電力も何も使わずに下水処理が出来るのだが、これだけの土地を陸上に確保するのは、今の日本ではとても無理だ。しかし広い海を使えば問題無い。

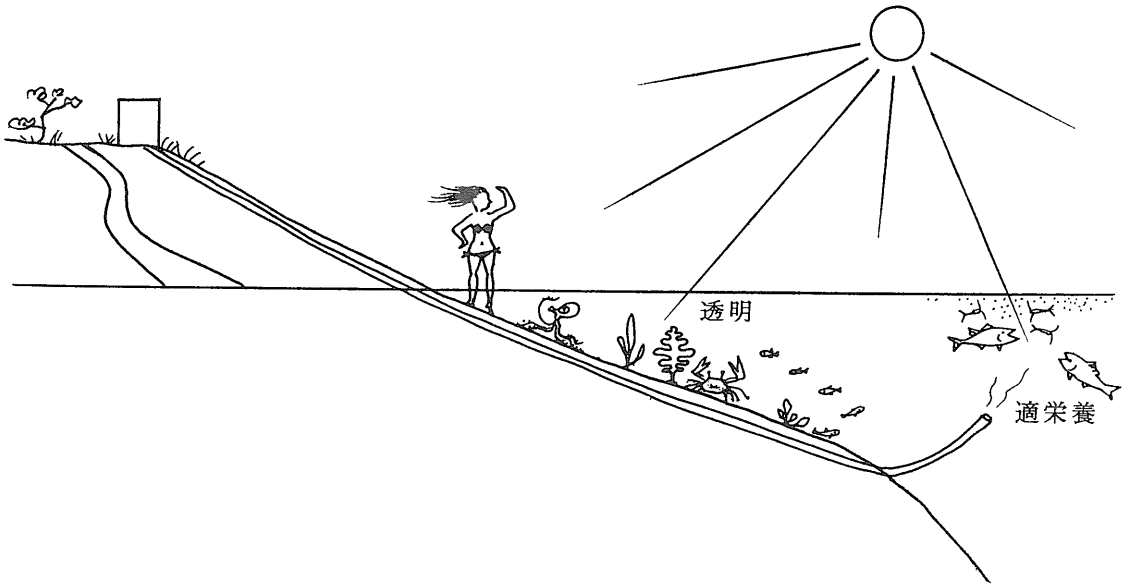
一口に海と言っても、沿岸部の浅い海と沖合では性格が違う。海底に光が届くと、珪藻等が繁殖して餌となる小虫が育ち、海藻が繁茂して豊富に酸素を出し、魚の産卵場、稚魚のねぐらとなる。蒸留水でも100m通過すると光は1/100に減り、一次生産の場にはなり得ない。従って水深100m未満の貴重な浅海は、なるべく水が綺麗で、海底に豊かな生態系が発達する方が良い。

一方、100mを超す深い海は、どうせ透明でも海底は暗いのだから、海面近くに適度に肥料分が有って、植物プランクトンによる光合成を出発点とした食物連鎖が進行して魚がふえる方が良からう。

現在は、陸上で電力を投入して下水のBODを除き、窒素や燐に富む処理液を、川を経て浅海に流し、污泥焼却の為に、また石油を燃やして居る。その結果、浅い海は過栄養化して海底が暗くなり、深い海は表面近くに肥料分が無いので、海の砂漠に留まって居る。有害な重金属等を含まず、窒素や燐に富む廃液を、浅海を通り越して深い海の表面に流し、沖合をラグーンとして活用すれば電力の節約、浅海の蘇生、水産増強、二酸化炭素吸収と一挙四得になる。我々は、これをマリン・ラグーンと呼び、安全性、効果、あらゆる観点から研究を進めて来た^{5,6)}。廃水に含まれる窒素や燐に見合う量の炭素が匡

第5表 地球の表面

区分	10 ⁷ km ²	%	
光合成面	可耕地	3.2	6.3
	林野	4.5	8.8
未利用面	浅海	4.0	7.8
	外洋	32.6	63.9
	砂漠等	6.7	13.1



定されるので、持ち込まれる BOD が少ければ少い程、炭酸固定量が増す。

ハプト藻や有孔虫等が繁殖するように仕向ける事が出来れば、狭義のバイオマスの分の他に、余分の CO₂ が固定される。

11. メタグリカルチャー^{7,8)}

有機化合物として CO₂ を固定する時の光エネルギー効率を高める為の原則を考えてみよう。

1) 光合成の経済：CO₂ が光合成によって有機物になる為の段階としては、①濃縮、②光呼吸損失、③細胞構築の為の呼吸損失、④細胞維持等の為の呼吸損失等を経て残った分が純生産として固定される。

濃縮の段階としては、藍藻の場合、細胞壁を通過する時、無機の炭酸を数百ないし千数百倍に、緑藻では数百倍に濃縮する。光呼吸による酸素阻害については、C₃ 植物や CO₂ を強化した空気を通気した場合の微細藻類では酸素阻害が見られるが、C₄ 植物では、これが見られない。所が最近、特に CO₂ を強化しない普通の空気を通気すると、微細藻類にも酸素阻害が見られない事が見出された。

見落され勝ちだが大きいのは細胞構築の為の呼吸損失である。燃えカスである CO₂ から化学エネルギーに富む有機物を作るのに、熱力学第一法則の分のエネルギーが必要な事は当然だが、化学エネルギー含量には殆ど差が無くても、材料から秩序正しい細胞を組み立てる段階で、第二法則に逆らう為のエネルギーが消費される。ATP1 モルから磷酸 1 モルが離れる時に放出されるエネ

ルギー (約10 kcal) を用いて構築されるバイオマスの量は、ATP 収量 (Y_{ATP}) と呼ばれるが、簡単な微生物でも、この値は約10 g である。

葡萄糖 (C₆H₁₂O₆=180) 1 モルが理想的に利用された時、ATP が38モル出来る。この時、10 g のバイオマスに対して180/38≒5 g の糖が消費される。実際は ATP 生成効率、ずっと悪いから、バイオマスが1グラム出来る為には、折角の光合成産物が1グラム見当、CO₂ に戻ってしまうと考えて良からう。

2) 生態系の経済：光合成生物その物の段階で、固定された CO₂ の半分ぐらいが CO₂ に戻ってしまうが、更に食物連鎖が進むと、1段階毎に約90%が CO₂ に戻る。海で見られる典型的な食物連鎖は、植物プランクトン→動物プランクトン→小魚→食用魚と3段階になるから、生態系としてのCO₂ 固定量は、光合成段階の更に1/1000 の桁になるだろう。これが水産の現状だ。

3) メタグリカルチャー：現代人が主食にして居る米、麦、芋等は、緑の葉をシーズンを通して大事に使い、光合成産物を、緑色の細胞から外に出して、胚乳や地下に貯える。貯蔵器官を持たない単細胞藻類は、これが出来ないから光合成産物を片っ端から燃やしてエネルギーを発生させては細胞を構築する。

微細藻類の高い光合成活性やフレキシビリティと、高等植物の知恵を組合せる事が出来れば、未利用受光面を効率良く活用した、新しい第一次産業を拓く事になる。私達はこれを met (a)-agriculture と仮称して居る。

そのモデルは、例えば珊瑚等だ。珊瑚の細胞内に共生した微細藻類は「住宅事情」の為に自由に増殖する事が

出来ないが、光合成は化学反応だから、光が当たれば、ドンドン進行する。そこで、光合成産物は藻の細胞外、即ち珊瑚虫の細胞内に分泌され、昼間の珊瑚礁では、食物連鎖によらない動物生産が実現する。

炭酸の無機固定の為には珊瑚も良いが、例えばクラゲに、窒素固定能力が有る藍藻と、有用物質生産の情報を担うプラスミドを組込んだ細菌を共生させる。下水から回収した不純な磷を仕込んだ自走ブイを浮かべて置けば、牛肉の味がするクラゲや澱粉に富むクラゲが、ブイのまわりで大繁殖し、可耕地の10倍の広さの大海原が大農場・大牧場になるだろう。

これに成功すれば、静止人口に達する前に予測される不足分の食糧、石油枯渇後の有機資源の調達が可能になり、これらに見合う多量の炭酸が固定される。水から水素と酸素を発生する光合成微生物系と燃料電池を組合せれば、ブイの操作等に必要な電力が得られる。更に超伝導電線に成功すれば、石油を掘り尽した後の砂漠が太陽電力輸出産業で潤う事になる。

文 献

- 1) 竹内均：自然界のエネルギー，東京大学公開講座19エネルギー（東京大学出版会）33～59（1974）
- 2) P. Westbroek, P. R. van Emburg and E. W. de Vrind de-Jong: *Emiliana huxleyi* and atmospheric CO₂, Abstract of the 1st Marine Biotechnology Conference, 6 (Tokyo, 4～6, 1989)
- 3) John H. Martin and Steve E. Fitzwater: Iron deficiency limits phytoplankton growth in the north-east Pacific subarctic, *Nature*, 331, 6154, Jan. 28, 341～343 (1988)
- 4) John Gribbin: Any old iron? *Nature*, 331, 6159, Feb. 18, 570 (1988)
- 5) 中山大樹：マリンラグーン構想，有馬啓編；生物による環境浄化（東京大学出版会）217～230（1980）
- 6) 中山大樹：太陽エネルギーによる尿尿等の水産資源化，エネルギー・資源，Vol. 4, No. 2, 6～10（1983）
- 7) 中山大樹：メタグリカルチャー構想，エネルギー・資源 Vol. 10, No. 2, 125～130（1989）
- 8) 中山大樹：微細藻類とその応用／メタグリカルチャーへの可能性を秘める，日本の科学と技術，Vol. 30, No. 253, 44～50（1980）

<受付：1989年12月15日>

最近中国で発見された新鉱床 (1)

岸本文男¹⁾

漳州市で高温噴泉

最近、福建省第1水文地質・土木地質隊の604号試験機は漳州県の五中院で稼働中、地表下86.9mのところから高温の熱水を噴き上げ、高さ20mほどの湯柱を立てた。それは、まるで一条の白い龍が空中に躍り出たかのようであった。測温の結果によると、試験機口での泉温は105°Cに達していた。その後、この地での温泉探査試験は漳州温泉療養院に引継がれ、また新たに一井の高温熱水噴泉が噴出した。

漳州市区域は地熱資源がかなり豊富で、すでに発見済みもしくは基本的には探査・把握済みの温泉が56ヶ所で、総流量は1日当たり21,078m³、最高湯温は121.5°Cに達している。これらの地熱資源は、比較的高い利用価値を備えている。楊坤根（中国地質報 1989. 3. 27）

山西で螢石鉱床の探査が成功

山西省地質鉱産局第217地質大隊は、同省の北部、恒山山脈東部の渾源県域内で螢石鉱床の探査に成功し、当該鉱床の産出状態を明らかにした。その探査結果によると、鉱体が延長900mにわたって断続・露出し、3鉱体区（10鉱体）に分けられるが、稼行価値があるのは5鉱体である。鉱体は脈状・複脈状を呈し、平均厚度が2m、CaF₂平均含有率が36.77～63.98%であり、埋蔵深度が浅い。鉱石は選鉱しやすい。試算によると、鉱量は46万tで、鉱床規模は中型に相当する。

鄧広華（中国地質報 1989. 3. 27）

1) 元所員：〒152 東京都目黒区東が丘1-23-21