

海藻利用の21世紀への展望

秋季シンポジウム要旨
1997.11.8. 於：東京水産大学

海藻の森とそのはたらき

横濱康継 (筑波大学下田臨海実験センター)

1. はじめに

本州中部の太平洋側に突き出た伊豆半島の先端近くに位置する下田湾にはコンブ科に属する多年生褐藻のアラメとカジメが生育しているが、水深5メートル前後を境に前者は浅所側、後者は深所側というように両者は上下に住み分けている。しかし水平分布ではアラメの北限が宮城県北部であるのに対してカジメのそれは茨城県南部であるため、茨城県北部から宮城県北部までの沿岸には両者のうちアラメだけが分布していることになる。

アラメとカジメは三陸以北に分布するコンブ類と異なっており、直径2センチメートルほどで長さが数十センチから1メートルほどになる巨大な茎状部を持ち、その先に側葉と呼ばれる葉を多い場合には40枚ほどつけたハタキのような形をしているため、その群落はうっそうとした森のような景観を呈する。

アラメとカジメの双方が上下に住み分けながらそれぞれ密な群落を発達させている下田周辺の沿岸は、まさに海中の森に関する研究のフィールドとして大変恵まれているが、さらに下田周辺でも水温が通年約1℃高い部分にはアラメが分布せず、浅所側もカジメが占め、また水温が通年1.5℃ほど高い伊豆半島西岸にはカジメのみならず1年生の大型褐藻であるアントクメが分布するというように、伊豆半島沿岸にはコンブ科3種類の分布境界線が存在している。

下田湾を望む位置にある筑波大学下田臨海実験センターでは、その立地条件を活かした海藻の多様な研究と教育が行われてきたが、海中の森の生態学的な研究も、最近では葉上動物までも視野に入れた生物の相互作用を解析する段階に達している。本シンポジウムでは筆者らのこれまでの研究成果に吉田忠生氏や谷口和也氏らの報告を加えて話題を提供したい。

2. 海中の森の生産力

吉田 (1970) は松島湾の水深約2メートルおよび4メートルのアラメ群落の1平方メートルあたりで1年

間に乾燥重量にして約2キログラムの葉が生産されているという結果を得ている。アラメもカジメも側葉は羽状についており、下位のものほど新しい、つまり側葉は下の方の茎状部との境あたりで萌出し、生長しながら上へ移動し、先端へ達して脱落するという生長様式をとるので、ある位置の側葉にしるしをつけてその移動速度を測るという作業を適当な間隔でくり返すと、1年間の側葉生産枚数がわかる。この方法を応用すると1年間に生産される葉の量を推定することができる。筆者ら (Yokohama et al., 1987) も吉田にならってこの方法を応用し、下田湾の水深5メートルのカジメ群落で1平方メートルあたりの年間純生産量として約3キログラム (乾燥重量) という値を得た。

海中の森と呼べるような群落を形成する海藻としてはコンブ科の他に同じ褐藻に属するホンダワラ科のメンバーを無視できないが、細引きより細くてしなやかな軸から分岐した枝々に細かな葉と浮袋を無数につけて水中に体を立てているホンダワラ類の群落は陸上の藪に近い。

谷口、山田 (1973) は能登半島飯田湾の水深4-6メートルのヤツマタモクとノコギリモクの群落で層別刈り取り法を応用し、1平方メートルあたり年間の純生産量としてそれぞれ5.5および8.3キログラム (乾燥重量) という値を得ている。陸上の森林での値は、温帯林で0.6-2.5キログラム、熱帯雨林で1-3.5キログラムと言われている。海藻の森の生産力は陸の森をしのぐほどだと言えよう。

3. コンブ科植物の分布を決定する要因

下田臨海実験センターでは、多年生のアラメとカジメ、1年生のアントクメの光合成特性についても研究を行ってきた。

下田周辺では上下に住み分けるアラメとカジメについては、前川ら (1987, 1988) は同一環境に生育していた両種の幼体の光合成一光曲線を求めたところ、光補償点がカジメでアラメの約2分の1となり、カジメとアラメの幼体の生育できる相対光強度 (水面での値に対する) はそれぞれ約0.5%および1%と推定されたが、実際の群落内における幼体の分布状況からもこれらの値の正しいことが明らかとなった。

一方水平的にはアラメの北限はカジメのそれより北にあり、また伊豆半島東岸でもやや水温の高い地点にはアラメのみならずカジメのみとなることから、両種間には温度に関する生理特性上の違いがみられるものと予想されたが、強光を用いた光合成一温度曲線から

判定される光合成最適温度はどちらの種でも 25℃となった。この値は水温が 15℃以下になる冬季でもほとんど変わらず、生育適温とはかなり異なったものと言える。実際の群落内で藻体の各部分が受けていると考えられる範囲の弱光の下で純光合成速度と温度との関係を求めたところ、純光合成速度は生育時の水温付近で最大となり、またアラメの生育適温がカジメのそれより低いと判断できる結果が得られた。さらに温度と光強度の双方を変えて純光合成速度を測定した結果から描いた日補償積算光量—温度曲線（1日に必要な最低限の積算光量と温度との関係を表わす曲線）からは同一光条件下ではカジメがアラメに比べてより高温の下で生育でき、同一温度条件下ではカジメがアラメに比べてより弱光の下で生育できることが示唆された（倉島ら、1996）。

カジメとアントクメとでは、胞子体の葉の生理特性に明瞭な違いがみられなかったが、両種の配偶体が胞子体に比べてはるかに高温および弱光の下で生育できることが明らかとなり、1年生で初夏に遊走子を放出し配偶体だけで越冬するアントクメは、多年生で少なくとも1回は高温に弱い胞子体で越冬しなければならないカジメに比べより高温域に分布できるものと考えられるようになった（神林ら、1996）。

4. 磯焼けのメカニズム—植物の御飯は光—

伊豆半島の東岸では昔からアラメやカジメの群落が突然消失する磯焼けと呼ばれる現象が頻発し、アワビ漁などに大きな被害を受けてきた（河尻ら、1981）。この磯焼けは、黒潮が蛇行して半島に接近するために起る水温の上昇と栄養塩濃度の低下つまり「高水温貧栄養」によって起こるとよく言われるが、どちらかというところ「貧栄養」のほうにウエイトを置く人が多いようである。しかし、アラメやカジメの日補償積算光量—温度曲線が明らかになった今、磯焼け発生のしくみを水温上昇だけでも一応説明できるようになった。一方栄養塩つまり窒素やリンの無機化合物の濃度低下が磯焼けをひき起こすという証拠はまだ得られないままである。

最近全国各地で磯焼けが起きているという。「磯焼け」という言葉は伊豆の方言であったとのことであるが、黒潮蛇行の影響を受けないような水域で最近起き始めた「磯焼け」は本来の磯焼けとは違った原因によって生じていると考えなければならない。しかし本来の方も「貧栄養」にウエイトが置かれていたせいか、各地の「磯焼け」も、その原因は貧栄養にあるとみら

れがちであり、それでは説明できない富栄養水域での「磯焼け」には、陸の森から供給されるべきある物質が不足しているからというような説も登場した。またウニや藻食魚あるいは石灰藻を犯人にした説も根強いですが、これらの生物は最近になってこの世に出現したり、外国から帰化したものではない。犯人は人である可能性が最も高いのである。

これまでの磯焼けの原因説や対策で「焼ける」主体である海藻や海草の生理に立脚したものは皆無であったと言ってよい。国の特別天然記念物である阿寒湖のマリモでさえ、その保護のための調査研究は長い間湖の環境とマリモの現存量だけが対象だった。しかし主体であるマリモの生理特性が明らかにならなければ、調べられた「環境」がマリモにとってどんな環境なのか分からないのである。ごく最近マリモの光合成や呼吸の測定が行われ、湖水の濁りによる光量不足がマリモに致命的な影響を与えていることが明らかになったのであるが、海藻や海草についても同じことが言える。

ある種について得られた日補償積算光量—温度曲線は、光量と温度がその曲線より上の部分に入らなければその種の個体は生きられないことを意味する。天然の植物群落は光および温度条件が各個体にとって生きられるギリギリの限界になるまで発達するはずである。つまり光量と温度の組み合わせは日補償積算光量—温度曲線のすぐ上あたりになるはずなので、光が少し弱まっても、温度が少し上昇しても、それは曲線を下方へ越えてしまい、個体は生きられないことになってしまう。伊豆の磯焼けは温度が上昇することによって起こると考えられる。温度上昇が原因と考えられないような水域での「磯焼け」の原因としてはまず光量の減少を第1候補に挙げなければならない。光量の減少をもたらす海水の濁度の増加は汚水の流入や河川そのものあるいはその源となる山地の荒廃等の進行で全国的に加速しているはずである。

栄養塩という言葉は、それだけで海藻や植物プランクトンが育ってしまいそうな響きを持っているが、実際にはカロリーを持たない無機物であり、植物の本当のカロリー源つまり「植物の御飯」は光なのである。栄養塩が濃すぎて富栄養と呼ばれるような水域では水面近くで光を十分受けられる植物プランクトンが増えて海水の濁度を増加させ、かえって海藻や海草の生育を妨げてしまうことにもなる。

5. 高層ピル群のような海藻の森

磯焼けは海藻を直接採取する漁業やアワビやウニなどの藻食動物を採取する漁業にとって大きな打撃になるばかりでなく、沿岸環境の荒廃にもつながる。海藻や海草はある種の魚介類の産卵床となり、それらの稚仔を含む多様な動物が茂みの中で暮し葉上の小動物を餌とする。また葉上動物は葉面に繁殖する微生物を食べるというように、海藻や海草の群落内には複雑な食物連鎖が形成されているが、その底辺を支える微生物達は海水中の有機物や栄養塩を摂取するので、このような食物連鎖を通して海水は浄化される。海藻の茂みにおける海水浄化の速度は単純に考えた場合、葉面積指数に比例すると言える。海藻の森の葉面積指数は10から20ぐらいに達するが、葉面積指数20は1平方メートルの海底に生えている海藻の葉の総面積が20平方メートルであることを意味するので、そのような森は20階建てのビル群に相当する。しかしその床はすべて水平というわけではなく、まちまちに傾き、そして生物は葉の両面に付着するので、実効面積は40階建てのビル群に相当することになる。ところがこの光を食べる生きたビル群は、海水の濁りが限度を越すと光不足となって一挙に消滅し、あとは1平方メートルの海底に1平方メートルの床つまり海底だけが残るので、海水の浄化能力は40分の1となる。それまで40倍の面積の葉面に分散して付着し分解されていた有機物が1枚の海底に沈積するようになるので、分解が追いつかず、沈殿の層の厚みが急速に増して嫌氣的となり、真っ黒なヘドロ層となるのである。

6. 海藻の多彩さの意味するもの

陸の森は緑色であり、その下草も緑色だが、海藻の森は褐色であり、下草は赤に近いものが多い。緑色の海藻も存在しないわけではないが、それらはごく浅い場所に限られている。

「植物は緑」というのは私たちの常識だが、海中では通用しない。海藻は紅藻、褐藻、緑藻という3大分類群から構成されているためなのだが、緑の藻という意味にとられてしまう緑藻もすべてが緑色を呈しているわけではない。深所性の緑藻のほとんどに含まれるシホナキサンチンとシホネインが生体内で赤色となり深所に卓越する緑色光を捕獲する光合成色素として機能するということが比較的最近明らかとなり、これらの色素を含有する種を深所型緑藻、含有しない種を浅

所型緑藻と呼ぶことが提唱されたが、深所型の多くは緑の藻とは呼べないような色を呈している(Yokohama et al.,1977 : Kageyama et al.,1977 : Kageyama and Yokohama,1978)。海藻の森を形成する種類を含む褐藻ではフコキサンチンが、そして多くの下草を含む紅藻ではフィコエリスリンがそれぞれ緑色光を捕獲するのであるが、これらの色素を含むことによって多くの海藻は陸上植物よりはるかに効率よく光を利用することができる。海藻の森が陸上より劣悪と言える海中の光環境の下で陸上の森をしのぐほどの生産力を発揮できるわけがこれである程度納得できよう。しかも大きな浮力と養分を与えてくれる水に囲まれて生活するために巨大で強固な根や茎を必要としない海藻たちは、光合成産物のほとんどを光合成器官の素材に投入できる。このような効率よい拡大再生産の方式も海藻の森の大きな生産力を支えていると言える。

海藻の多彩さを知ると、陸上植物が緑一色であるわけを知りたくなる。オゾン層がある程度発達して紫外線が弱まり海中の浅所にも生物が住めるようになったのが今から6億年ほど昔であるという。海藻もそれまではすべて深所に生育していたはずであるが、深所型緑藻から突然変異によって生まれた緑色の浅所型緑藻がそのころによろやく浅所で生き延びられるようになったのだと筆者は考えている。そしてその子孫が約4億年前に上陸して、コケ、シダ、種子植物へと進化し、その間に葉の色素組成は変化しなかったため、陸の植物はすべて緑色なのである。

多彩な海藻をおしばにすると美しい作品ができ上がる。何種類もの海藻を組み合わせた具象的、抽象的あるいはグラフィックな作品作りは幼児から老年層までのすべての人に人気がある。このような遊びを通して、海藻の多彩さを知ることは、現代の海における海藻のはたらき、そしてオゾン層形成を含む地球環境変遷の歴史を知る糸口となるのである。海に囲まれ海藻を常食するわが国では、ほとんどの人が海も海藻もよく知ったつもりであるが実はほとんど何も知らないということを、これまでの海藻おしばなどの普及活動を通して筆者らは知った。海藻の本当の姿をすべての人が知ることは、現在急速に進行しつつある環境破壊に対する抑止力を生むことになる。それは私たちの子孫に対する義務でもあるが、それほどむずかしいことではないはずである。

