

陸と海を結ぶ生態学

Ecology as a Bridge between the Land and the Sea

松 永 勝 彦 (まつなが かつひこ)

北海道大学教授 水産学部

1. はじめに

水深50mまでの沿岸海域は全海洋のわずか0.6%にすぎないが、バイオマス(生物量)は全海洋のおよそ70%を占めている。また沿岸海域では数10mと考えられる光合成層においては、植物プランクトンがそこに存在する窒素、リン等の栄養素によって増殖し、死後海底に沈降する。すなわち、植物プランクトンが光合成層の栄養素を除去してしまうことを意味している。このように海水にもともと含まれていた栄養素は光合成が活発になるにつれ、春になると濃度はゼロに近づく。しかし、栄養素が枯渇しているにもかかわらず、光合成生物(植物プランクトン、海藻)は増殖、生長できる。なぜなら、沿岸海域の光合成生物が摂取する栄養素は陸の河川や沢水から供給されるからである。

光合成生物は基本的には二酸化炭素、水、太陽光で増殖、生長する。そのほか窒素、リン、珪素(栄養塩と呼ぶ)、鉄、亜鉛、銅、コバルト、マンガン等が必要であるが、鉄、亜鉛等は必須微量元素と呼ばれる。生物体内でのこれらの元素の働きは、主に酵素の主構成元素が酵素を活性化させる働きをしている。

微量元素中、鉄以外の元素は海水中で溶存している。すなわち、光合成生物は容易に細胞膜を通してこれらの元素を摂取できる。なお、マンガンは熱力学的には MnO_2 の固体が最も安定であるが、 $Mn(II)$ から $Mn(III)$ 、 $Mn(IV)$ への酸化速度が極めて遅いため、沿岸海域では溶存していると考えてよい。

ここでは、沿岸海域に流入する鉄、栄養塩の起源を中心に述べることにする。

2. 必須微量元素としての鉄の役割と鉄の化学

イオン化した鉄は $Fe(II)$ と $Fe(III)$ が存在する。 OH^- との溶解度積はそれぞれ約 10^{-14} と 10^{-36} である。すなわち、溶存酸素が存在しないと $Fe(II)$ はイオンとして溶存できるが、溶存酸素共存下では $Fe(III)$ に酸化される。 $Fe(OH)_3$ の溶解度積が小さいことから、 $Fe(III)$ は極端な酸性下でない限り、固体を形成することになり、光合成生物は固体の鉄を体内に取り入れることはできない。

0.025 μm のろ紙を通過した鉄でも光合成生物(コンブ)が摂取できない一例を図-1に示す。鉄はEDTA(ethylenediaminetetraacetic acid)^{注1)}と錯体を形成し、水に溶解する。EDTA-Fe錯体と天然海水を0.02 μm

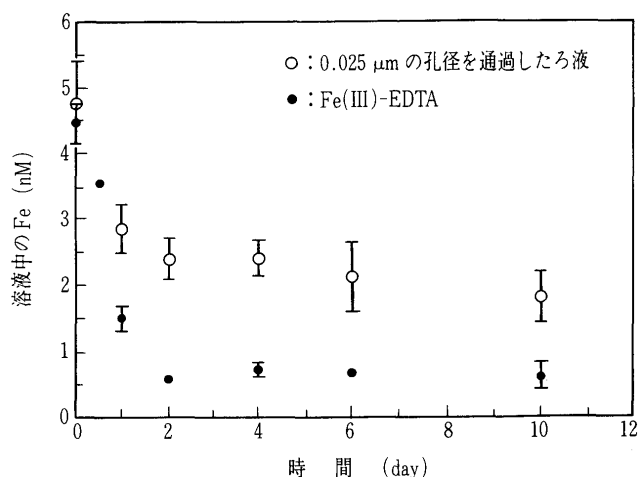


図-1 コンブによるろ液中の鉄摂取実験
孔径0.025 μm を通過したろ液中の鉄濃度の経時変化

表-1 ろ液中の鉄濃度 (nM)

ろ過方法	場所	場所		
		A	B	C
天然海水	HA	7.3	18	6.6
	VS	2.7	1.2	2.4
紫外線照射3時間後	HA	1.8	5.3	0.46
	VS	0.80	0.58	0.36

HA: 孔径0.45 μm ろ紙 VS: 孔径0.025 μm ろ紙

A: 普通の一次生産量の沿岸海域 B: 河口海域

C: 低い一次生産量の沿岸海域

の孔径のフィルターでろ過したろ液中の鉄をコンブを用いて摂取させ、コンブが摂取し終って残存している溶液中の鉄の経時変化を示した¹⁾。なお、実験では放射性 ^{59}Fe を用いた。図-1から明らかなように、EDTA-Feでは、コンブはほとんどこの鉄を利用(摂取)したが、天然海水では摂取できないコロイダル鉄が存在することを意味している。このように、0.02 μm のフィルターを通過する鉄でさえ、光合成生物が摂取できない固体(コロイド)の鉄が存在するのである。河口域等の海水を0.45 μm と0.025 μm を通過させたらろ液中の鉄濃度を表-1に示したが、光合成生物が摂取できる、すなわち溶存の鉄濃度が0.3~0.5 nM^{注2)}と考えると、多くのコロイダル鉄が存在することがわかる。なお、河口域につ

注1) EDTA: 人工的に合成された有機物質で、植物プランクトン等を培養する際、鉄を水に溶解させるため、培養液に加えて用いる場合が多い。

注2) nM: $10^{-9}M$ を意味している。 $\mu gFe/l$ に換算するには55.9を乗じる。例えば2nMのFeは0.1118 $\mu g/l$ となる。

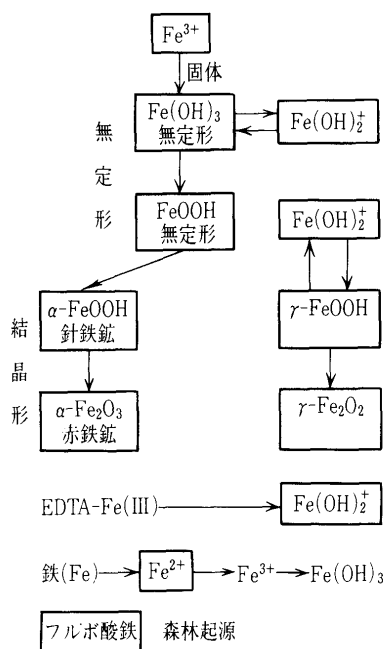
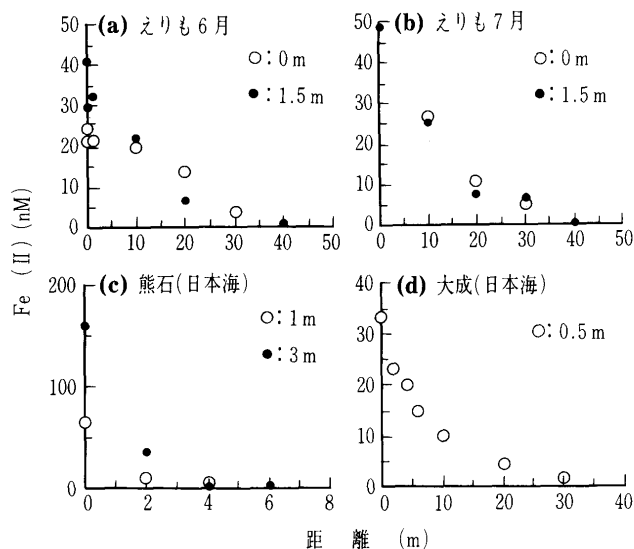


図-2 各態鉄

いては次に述べる腐植土起源のフルボ酸錯体を考慮しなければならない。

図-2に示したように、固体の鉄は結晶形をもたない無定形から結晶形まで存在し、結晶を有する鉄も多種類ある。自然界の鉄はどのような形態なのかまだ解明されていないが、結晶形を有していることは確かなようである。このような固体の鉄を光合成生物は摂取できないが、ごくわずか溶存種の $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ が溶存する。しかし、溶解度は低く、溶解速度も極めて遅い^{2),3)}。

光合成生物が直接利用できる鉄として鋼鉄が溶在酸素で酸化された時、最初に $\text{Fe}(\text{II})$ として溶解する。この $\text{Fe}(\text{II})$ を光合成生物は摂取できる。ただし、 $\text{Fe}(\text{II})$ も $\text{Fe}(\text{III})$ に酸化され固体に変わるが、低水温では $\text{Fe}(\text{II})$ の酸化速度は遅いため、鉄不足の海域に鋼鉄を沈設することは有効である。海に鋼鉄を沈設した時の $\text{Fe}(\text{II})$ の拡散状況を図-3に示す⁴⁾。光合成生物が直接利用できる他の形態は腐植土起源のフルボ酸鉄であ


図-3 海に沈設した鋼鉄からの Fe^{2+} の拡散

る。

3. 森林の役割

古代から人間は木材を有形の資源として利用してきたが、もっと大切な森林の働きは環境保全である。酸素の供給、防風、防雪林がよく知られているが、大気浄化、騒音防止、山崩れ防止、水源涵養等もある。この中でも水源涵養は最も大切な役目である。降雨は、裸地の斜面では無機土とともに表層を流れだしてしまい、地中への浸透はほとんど期待できない。したがって、大雨が降れば洪水が生じ、乾期には河川は渇水になる。渇水になれば河川の生物は生きることは困難になる。沖縄県では、土砂流出に伴いサンゴ礁が死滅しているが、寒流系では海藻、熱帯や亜熱帯ではサンゴ礁が海藻の役割をしている。すなわち海藻やサンゴ礁は産卵や魚介類が育つ場所であり、これらの死滅は魚介類の減少につながるのである。

4. フルボ酸鉄

私達は土壤という言葉をよく使うが、これは岩石が風化しただけの無機物質ではなく、微生物による分解をうけた有機物質が含まれる。すなわち、栄養素を含んでいる。森林地帯では枯葉、枯枝が微生物的分解をうける。この時、硝酸や炭酸のような無機酸やシュウ酸や酢酸等の有機酸が生じる。これが鉱物に作用し、分解を速める。鉱物と有機物質が混合すると、いわゆる腐植物質が生成する。腐植物質中、水に溶解する分子量1000程度の有機物をフルボ酸というが、これはカルボキシル基、カルボニル基、アミノ基、水酸基等の官能基をもつ高分子の有機酸である。すなわち、フルボ酸はこれらの基により多くの金属と錯体を形成する機能を有している。先に述べたように $\text{Fe}(\text{III})$ は固体（粒子）であるが、フルボ酸と結合し錯体を形成することによって水に溶解することになる。腐植土からはフルボ酸鉄錯体を始め、リン、窒素等の栄養素が海に流入することになる。

光合成生物にとって、鉄は不可欠な元素であるが、フルボ酸鉄と無定形水和酸化鉄を用いて植物プランクトン、海藻（コンブ）による鉄の摂取速度実験結果からフルボ酸鉄は無定形水和酸化鉄よりも少なくとも5倍以上多く光合成生物に摂取される。すなわち、多くの鉄を摂取した光合成生物は速く増殖するし、速く成長することを意味している。

5. 森林による魚介類増殖例

5.1 えりも岬

300年前の北海道えりも岬は広葉樹の原生林で覆われていた。明治以降本州からの入植者が増え、森林は建材、燃料として、あるいは放牧地として伐採され続けた。森林消滅とともに土砂が流出したため、沿岸のコンブを始め根付魚（一生を沿岸ですごす魚）や回遊魚もえりも岬から遠のいてしまった。魚介類の生育の場が消滅したから、当然の結果である。これに気づいた漁師はえりも岬

の緑の再生にむけ努力を重ねた結果、現在では70%の緑化に成功した。この努力は魚介類の水揚げに如実に現れ、植林前に比べおよそ250倍の水揚げが得られている(図-4)。

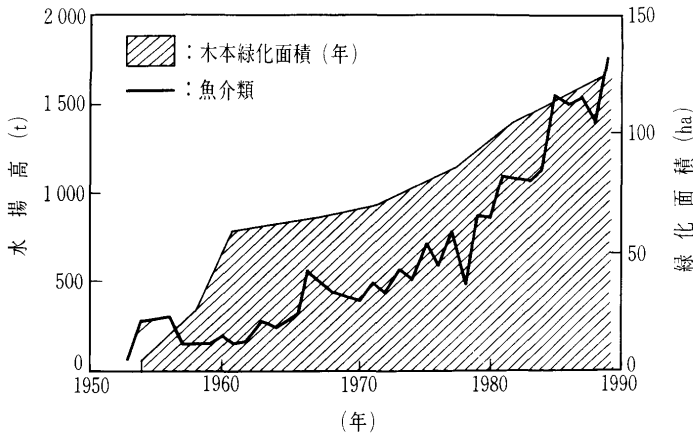


図-4 本木緑化(植林)を行ったえりも町における魚の水揚げの経年変化⁶⁾

5.2 気仙沼湾

宮城県の気仙沼湾では、カキ、ホタテ、コンブの養殖により年間数10億円の水揚げがある。数年前に、私共はこの湾の調査を行い、カキ、ホタテの餌となるプランクトン、海藻を生長させる栄養素の起源を調査したが、湾に流入する大川から大部分もたらされていることがわかった。さらに、河川からの影響を受ける地点と全く影響のない外海での基礎生産量の測定を行った結果、湾内は外海よりも少なくとも10倍高い生産力が得られた。すなわち、湾内は大川から流入する栄養素によってプランクトン(餌)を増やす能力が高いことが判明した。

なお、この湾の漁師が中心となり、大川上流に植林を精力的に行っている。また北海道、九州でも漁師による植林が活発になってきているが、気候変動に伴う食糧不

足が危惧されている今日、動物性蛋白質は沿岸から得られるよう今から努力しておかなければならない。なお、地球温暖化を遅らせるためには植林による二酸化炭素の固定が大きいといわれている。したがって、水産資源を豊かにする植林が温暖化を遅らせることにつながっていることから、日本いや世界に植林の輪を広げる努力を私達は今しなければならぬ。なお、多少専門的になったが、一般向けには拙著⁵⁾がある。

参 考 文 献

- 1) Suzuki, Y., Kuma, K., Kudo, I. and Matsunaga, K.: Iron requirement of the brown macroalgae *Laminaria japonica*, *Undaria pinnatifida* (phaeophyta) and the crustacean coralline alga *Lithophyllum yessoense* (Rhodophyta), and their competition in the northern Japan Sea. *Phycologia*, 34, pp. 201~205, 1995.
- 2) Kuma, K., Nakabayashi, S., Suzuki, Y. and Matsunaga, K.: Dissolution rate and solubility of colloidal hydrous ferric oxide in seawater. *Mar. Chem.*, 38, pp. 133~143, 1992.
- 3) Kuma, K., Suzuki, Y. and Matsunaga, K.: Solubility and dissolution rate of colloidal γ -FeOOH in seawater. *Water Res.*, 27, pp. 651~657, 1993.
- 4) Matsunaga, K., Suzuki, Y., Kuma, K. and Kudo, I.: Diffusion of Fe(II) from an iron propagation cage and its effect on tissues iron and pigments of macroalgae on the cage. *J. Applied Phycology*, 6, pp. 397~403, 1994.
- 5) 松永勝彦: 森が消えれば海も死ぬ, 講談社ブルーバックス, 1993.
- 6) 森は環境をよみがえらせた, '92緑と魚のフェスティバル報告書, 1992

(原稿受理 1996.7.31)