

知ってますか??



雑学講座

地球気温の制御方法 [1]

- 青い海の反射能と鉄の物語 -

作・光藤 裕之 岡山理科大学 理学部応用物理学科 教授

〒700-0005 岡山市理大町1番1号 TEL/086-252-3161 FAX/086-255-7700

昨年 (1999 年) の夏は異常に暑かった。「何故こんなに暑いのか？」 といついても心奪われて、思案するともなく思案した結果「今年の夏はなぜ暑いのか」と題するエッセーを書いた¹⁾。そのとき「来夏も暑いかな」と思わなくてはなかった。しかし、2000 年の今夏の暑さは予想を超えた。ただひたすら夏の過ぎるのを待つ以外に何もできないのか。切望が、今回の表題になった。日射のうちの緑色光を反射させるとき、水温上昇はどの程度抑制できるのか。バケツ実験の結果は期待に背かなかった。

1 深層水の磯焼け修復

今年 7 月上旬、NHK の地域ニュースが目にとまった。室戸岬にある高知県立海洋深層水研究所で発見された話題である。室戸岬沖 2.6km の水深 320m から海水 (年中 9.5℃) をポンプで汲み上げている。生態系への影響を気にしながら、使い残りを磯焼けの海岸に捨てていた。ところが、岸辺に緑藻が茂り小魚介類の姿が見られるようになった様子が放映されていた。

このニュースは、昨夏のエッセーに書いたことを思い出させた。すなわち、「ペルー沖で自然に湧昇した深層水に含まれる鉄の 4 割が 2 価鉄であること、これが植物性プランクトンを繁茂させ、カタクチイワシの豊漁とラニーニャをもたらす」ことである。室戸の深層水にも 2 価鉄が含まれていて、磯焼けを修復したに違いないと感じたのである。

水中で解離して存在する鉄、つまり溶けている鉄の主力は 2 価鉄である。水酸化鉄 (II) の溶解度は 6mg/飽和水溶液 1dm³ (25℃) であり、大きくはない。しかし、これは酸化されて 3 価鉄になりやすい。3 価鉄は著しく溶解度の小さい酸化鉄、水酸化鉄固体になって海底に沈降してしまう²⁾。光合成植物が発生させた酸素は、光の届く海洋表層水中に溶けていた鉄を酸化・沈降させ除去

する。ところが皮肉なことに、葉緑体合成に鉄は必須なのである。海洋植物系は酸素自家中毒に罹るといえる。何らかの方法で、表層水に鉄が継続的に供給されなければ、植物性プランクトンは育たない。天然には、陸水の流出と海洋深層水の湧昇が鉄補給している¹⁾。

2 緑陰の涼しさ

暑くなると毎年思い出すことがある。30 年近くも前の真夏、JR 三鷹駅に近い横河電機 (株) 本社に横河正三社長を訪ねたときのことである。駅前ロータリーに続いて、細長い梅林があり、その両側に歩道があった。梅林横を通ったときの涼しさが忘れられないのである。その後、梅の葉の分光吸収を測ってみたが、特別の仕掛けは見当たらなかった。梅は枝別れが旺盛で、木漏れ日を許さぬ緑陰をつくるためであろう。

緑陰はなぜ涼しいのか。日照が強く温度の高い夏、陸の植物の光合成活動は盛んである。このとき、赤色光と藍色光を吸収し利用するが、不要な緑色・黄色光を反射する。水分子と二酸化炭素分子からグルコースと酸素分子をつくる過程はエントロピーを減すが、液体の水が水蒸気になる過程はエントロピーを増す³⁾。光合成過程に伴う蒸散 (根から吸った水を葉から蒸発させる) は、気化熱により葉が熱暑で茹だるのを防ぐ役割をも担っている。

3 青い地球

葉が緑に見えるのは、緑色光の反射による。宇宙船から見て「地球は青かった」のは、青い光が宇宙に捨てられていることを意味する。レイリ・散乱された光の強度は励起光波長の 4 乗に逆比例する。大気分子は、太陽からの白色光のうち、赤色光よりも青色光を強く散乱する。この散乱光は地上から見ても大気圏外から見ても

青い。

遠くの山が近くの山よりも青みがかって見えるのは、緑葉からの反射光にレイリー散乱光が重なって眼に入るためであろう。同時に、遠くの山が霞って見えるのはミー散乱光が重なって眼に入るためである。「青い山脈」「人間いたるところ青山あり」は、遠景の青色を意味する。交通信号の「青」と「緑」も視る距離に依存する。青葉からの反射光が宇宙に捨てられるとき、緑陰は地球全体の温度上昇を抑制するに違いない。

吉田兼好(徒然草)に従って夏の暑さ対策を主とするならば、屋根瓦の黒色は好ましくない。光を宇宙に捨てないでも、電力に変換する太陽電池は、緑陰と同等な効果をもつ。

4 植生の合理性と不合理性とその制御因子

照葉樹林：亜熱帯から暖帯にかけて見られる常緑広葉樹を主とする樹林。一般に、葉は深緑色、革質・無毛で光沢があるので、この名がある[岩波 広辞苑]。この樹林は、宇宙へのエネルギー廃棄率を年間を通じて高く保持することによって、常夏の日照環境に適合している。シベリア・アラスカ等で広大な樹林をなす常緑針葉樹の針状または鱗片状の葉は、少ない日照を夏冬通して利用している。ここでは、光合成用の赤色光と藍色光の利用効率向上を主眼とし、緑・黄色光は不要だけで精出して反射するには及ばないから“照葉”ではない。一方、四季に富んだ本州では、活発な蒸散機能が冬も働くと過冷却を起こす。梅などの落葉広葉樹は四季適合型なのかも知れない。夏は緑陰をつくり冬は日照を邪魔しないのは、哺乳動物にとって有り難い。

陸上の植生分布は、日照の利用・不利用に関して合理的である。環境に適合した進化の結果であろう。これに反し、海の光合成植物の分布は不合理に思える。日照の強さ・時間ともに恵まれた南の海は黒潮であり、恵まれない北の海は青い親潮なのである。黒潮は海面上から見ると黒く、海面下に潜って見ると透明度が高いという。日光は深く浸透する間に吸収され反射されないから、熱エネルギーに変換されて海水温を上げ、熱夏をもたらす。陸についても、赤道付近の砂漠化は不合理といえる。それらの不合理は、進化のプロセスと人間活動の不整合によってもたらされているのではなからうか。ミスマッチのカギ要素は、植物が必須とする「鉄の供給」にあることを昨年も述べたし¹⁾、今回も述べる。

5 地球のエネルギー収支

地球は、太陽からの熱放射を浴びながら、宇宙に“浮いて”いる。宇宙は 2.7K の黒体放射に相当する波長 1mm にピークをもつ背景放射に満たされている。地球のエネルギーの出入りは放射による。エネルギーの流れ ($J/s=W$) の経路は、太陽 $\Rightarrow$ 地球 $\Rightarrow$ 宇宙と単純である。平均的な地表温度に対する地熱の貢献 ($0.06 W/m^2$) はわずかであり無視できる⁴⁾。エネルギーの流れが平均して、(太陽 $\Rightarrow$ 地球)=(地球 $\Rightarrow$ 宇宙)であるとき、地球の平均温度は一定値になる。つまり、収入と支出がバランスしているとき財布の中身は一定である。問題は、上記の等式の両辺の中身である。

地球の公転軌道(離心率 $=0.01671$)を円とし、太陽活動度が変動しないとし、エネルギーの流れ(太陽 $\Rightarrow$ 地球)を一定と考える。公転軌道を含む球面上の $1m^2$ に毎秒届く太陽の放射エネルギー(日射)は、太陽定数とよばれ、 $1.365 kW/m^2$ とされる。また、太陽光の波長分布は、黒体の放射スペクトルで近似され、 $0.5\mu m$ (緑色)付近にピークをもつ。例えば、理科年表の天文部に記載の“太陽の諸定数”は、太陽を有効温度 5780 K の黒体とすると算出できた⁵⁾。太陽定数値における文献ごとのごく僅かの差異は、太陽温度の設定(5700K~6000K)に依存するらしい。

地球は、自転するし、大気や海水の対流がエネルギーを運ぶから、射影面積 πr^2 (r = 地球の半径)で受け止めた太陽エネルギーは、表面積 $4\pi r^2$ に広がる。単純に平均すると、地球の $1m^2$ 当たり、(太陽定数/4) $=341 W/m^2$ が太陽から地球に送られる勘定になる。ここまでの話は単純である。現実の平均化を目指す過程には、対流に加えて水の転移熱(潜熱)が関わり、複雑でカオス的な気象現象を現出させる⁶⁾。

6 反射能(アルベド)の担い手

地球が受け止めた $341 W/m^2$ の約 70% である約 $240 W/m^2$ が、大気と地表にエネルギーを与える。残り約 30%⁴⁾⁵⁾⁶⁾あるいは 33%⁷⁾は反射されて直ちに宇宙に捨てられるという。ただし、この反射能数値の割り出し根拠の記述が見当たらない。反射率は波長の関数であるが、全波長については、反射能あるいはアルベド(albedo)が用いられる。これらは、太陽系天体で太陽からの入射光の強さに対する反射光の強さの比である

が、原子炉で反射体に入射する中性子のうち反射されるものの割合にも用いられる。

この反射能値を担う幾つかの要因が挙げられている。

① 雲の効果は大とされている。純白の雲のミ - 散乱は効率が高いであろう。雲粒の典型的な大きさは $10\ \mu\text{m}$ とされている。雲が直射を遮ったときの地表気温は高くないことは日頃経験される。夏の積乱雲（入道雲）の頭頂部は入道の坊主頭のように明るい。雲は平均して地球表面の何割を覆っているのであろうか。

② 大気レイリ - 散乱は、紫外・可視光 ($<0.5\ \mu\text{m}$) の地球表面への直達を減少させ、一部を宇宙に捨てる。

③ 氷雪面は雲と同様、反射効率は大きい。反射能概略値として、雪 (旧) = 40~70%、雪 (新) = 70~90% の記述がある⁶⁾。ただし、雪氷は日射の弱い極地に多く、高山を覆う面積は大きくない。

④ 地表面では砂漠の反射能が大とされている。反射能概略値は、砂漠 = 25~40%、砂地 = 15~30%、裸地 (湿) = 5~15%、裸地 (乾燥) = 20~35% という記述もある⁶⁾。ところが、理科年表の反射能の欄に、地球 = 0.30、月 = 0.07 とある⁵⁾。天体の反射能には、雲などによる散乱も反射に含めるので、一般に大気のある天体の反射能は大きいとされている。しかし、大気のない月の反射能は、砂漠の正味の反射能に近いのではなからうか。昨年のエッセーで¹⁾、砂漠の反射能は大きいとして議論したが、修正すべきか否か判断に迷うのである。乾燥した緻密な裸地と空隙を含む砂地の反射能はかなり異なるのではなからうか。

月には大気も水もなく、岩石の砕けた粉末が積もっていて、その温度は昼は $100\ ^\circ\text{C}$ 、夜は $-150\ ^\circ\text{C}$ と変動する。粉粒体には、穴またはくさび状の割れ目が無数にある。これらの空隙に入射した光は、空隙の内壁で反射を繰り返しながら吸収され熱に変換される。つまり、粉粒体には、黒体機能に優れた空洞放射体が含まれる。大気があるにも関わらず、地球の砂漠も昼夜の寒暖の差が大きいのである。

⑤ 植生陸地は、緑・黄色光を反射して宇宙に捨てているに違いない。しかし、反射能の概略値⁶⁾によれば、森林 = 3~15%、草地 = 10~25% とされている。

⑥ 水面の反射能 = 2~10% の記述がある。波のない水面反射能の入射角依存は計算できる。日射の大きい赤道・低緯度帯の反射能は小さい⁶⁾。植物プランクトンに乏しい黒潮の海は黒く見えるほど、可視光を吸収する。青い海は緑色光を反射している分だけ、反射能が大きい

はずである。

7 R. ルベールの反射能制御論と J. マーチンの鉄仮説

地球の温度の過上昇を防ぐ上で、最も単純な手立ては反射能を増すことであろう。気象・気候の専門家の興味は、反射能の制御よりも、対流圏内部の複雑な現象に重点が置かれているように見える。ただし、1990 年に R. ルベールは、地球温暖化を緩和し遅らせるための手段を列挙した最後の第 6 項目に「地球の表層や大気から宇宙圏外への太陽光の反射率、つまりアルベドを増加させる」ことを挙げている⁷⁾。

反射能とは関係なく海産の観点から、1989 年、J. マーチンは鉄仮説を提唱している。海洋表層に硝酸や燐酸が豊富で日射と水温に恵まれていても、鉄が不足ならば植物プランクトンの増殖が抑制されること、人為的に鉄を加えると顕著な増殖促進効果が得られることを見出したのである。しかし、人為的な海洋への鉄散布は、生態系に及ぼす影響が予測できないとの見解があって、実現していないようである⁷⁾。また、天然過程では、外洋の鉄は、大陸から風に乗って運ばれる微塵に含まれて供給されるとしている。しかし、無機固体から鉄を遊離し吸収する能力を根なしの植物プランクトンがもっているだろう。

海洋は、地球表面の $2/3$ を覆っていることと、恐ろしく熱容量が大きいことを考えると、海面の反射能がわずかに増すだけで、地球のエネルギー吸収は大幅に減少するに違いない。海の緑化は無視できない効果をもつ。

8 反射能を増して気温を下げる制御因子

大陸棚とか 200 海里経済水域には、植物プランクトンが豊富である。それを起点とする食物連鎖が漁業資源を育てる。これに海底油田権益が重なる。陸から離れた大洋の中央部、氷雪に覆われた南極大陸に近い海あるいは陸の砂漠が海に迫った南米大陸西岸海域の表層水鉄濃度は著しく低い。近年、漁師社会の俗諺「魚は森につく」効果が、新聞・テレビの話題に取り上げられる。陸の植物の根がつくり鉄を捕捉した分子 (植物性鉄運搬体) が流出した海に植物プランクトンが育つこと、鉄は葉緑素合成に必須であることは、昨年述べた¹⁾。

天然物と同じ植物性鉄運搬体 (phyto-siderophore) を人工合成して、注意深く海洋散布するとき、生態系の破壊や毒素・毒物蓄積あるいは酸素分圧の急増などを避け得るように思われる。ムギネ酸は研究室段階で合成法が確立していると聞いている。なお、ムギネ酸類は、かなり安定な有機錯体であり、表層水中に長く留まり植物に吸収されやすいのではなからうか。ただし、表は自分が吸収し内部で活用しやすい分子を用いているであろう。各種の植物性プランクトンに適した鉄運搬分子が得られれば幸いである。

砂漠を樹林にすれば海洋緑化に必要な鉄運搬体の海への供給が増す。少なくとも間接的には、陸の砂漠の緑化が地球全体の反射能を増す。シベリヤのタイガ (広大な針葉樹林) は、漁業資源を育む青い親潮の親と言える。NHKのテレビ番組「世界四大文明」によれば、数千年の昔の文明を培った河川流域は緑に恵まれていたようである。古代都市遺跡の多くは砂漠化地帯で発掘されている。「文明」は、焼き畑農業や鉄器・青銅器製造の燃料調達のために、樹林を犠牲にし、自らをも衰退させたのではないか。

9 地球圏に流れ込んだエネルギー

反射により直接的に宇宙へ捨てられなかった $240\text{W}/\text{m}^2$ は、地球圏つまり大気と地球表面に入力され、大気と地球表面を温める。これらの平均温度を簡単に $T = 300\text{K}$ とすると、それに見合った熱放射が宇宙に捨てられる。それをプランク放射で近似すると、放射強度は波長 $\lambda = 10\mu\text{m}$ にピークをもつ。日射の反射を除いて、正味入力したエネルギーが気象・気候に及ぼす作用と効果については専門家が詳細に扱っている^{4), 6), 7)}。

10 大気による日射の減衰と熱放射妨害

大気は、散乱と吸収によって地表に直達する日射を減衰させる。散乱は主として紫外・可視領域を、吸収は主として赤外領域を受けもつ。吸収の大部分は水蒸気による。他は、オゾン、酸素、2酸化炭素、メタン、亜酸化窒素である。大気の上端の酸素、水蒸気に吸収された紫外光の光化学作用でつくられたオゾンも紫外線を吸収する。かくて、地球表面に届くまでの減衰が大きいのは赤外光と紫外光なので、緑色光 ($=0.5\mu\text{m}$) をピークとす

る可視光の強度 ($\text{W}/\text{m}^2\mu\text{m}$) が相対的に高まる。

赤外光を吸収する水蒸気等の大気成分は、地球表面からと自らの熱放射をも吸収するから、熱放射の宇宙廃棄を妨げる。つまり、放射冷却を抑制する“温室効果”をもつ。このときの主役も水蒸気である。しかし、大気中の水蒸気濃度は数% ($<4\%$) に達し、その上、雲、霧、靄等々七変化するから、とらえ所がない。一方、 CO_2 は、水蒸気の ($1/100$) 程度の濃度でしかないが、 $\lambda = 13\sim 16\mu\text{m}$ (地球熱放射のピークに近い) 赤外域に吸収帯をもつこと、工業化とともに濃度が増し続けていること、大気中では常に気相でいて影響評価し易いことのため、温室効果ガスの主犯とされている。

11 地球水面における日射の吸収と熱放射

水面 (海洋と陸水) は、地球表面の $2/3$ を占める。水は、赤外光には大きな吸収係数をもつが、可視光には透明である。しかし、外洋水 (黒潮) の可視光減衰係数は、蒸留水のそれに近く、光の強さが 1% 程度に減るにはほぼ 100m の水深を要する⁸⁾。つまり、深い外洋に入射した光は、すべてのスペクトルにわたって吸収されて熱に変換される。青い海は、その表層で緑黄色光を散乱し反射しているので、黒い海よりも光熱変換量は少ない。

赤道近くの黒潮の海は、効率良く昇温し、盛んに水を蒸発させる。この水蒸気の温室効果は気温の上昇を助ける。逆に、上空で急冷された水蒸気がつくる雲は反射能を増して気温上昇を妨げる。ただ、寒・暖気団の衝突する前線から離れているためか、概して赤道近くは雲が少ない。やはり、大平洋高気圧は、蒸し暑さの元凶である。しかし、雲の効果の評価は「雲を掴む」ように難しいらしい。

12 薄情な褐虫藻、珊瑚哀れ

1998年の夏、琉球列島周辺で、かつて例を見ない大規模な珊瑚礁“白化現象”が起きた。造礁珊瑚は $25\sim 29^\circ\text{C}$ の水温で繁殖するから北限がある。しかし、水温が $30\sim 33^\circ\text{C}$ にもなると、珊瑚虫の体内に共生する褐虫藻が抜け出すため白化するという。褐虫藻は光合成植物 (クロロフィルの他に褐色色素をもつ) であり、珊瑚虫に栄養を与える。石垣島周辺海域の表面海水温は、1950年以降の平年値よりも 1.7°C 高く、50年間の最

高値であった⁹⁾。

この記録は 1999 年と 2000 年に更新されていることが、環境庁の調査結果で分かった¹⁰⁾。それによると、黒潮の影響の大きい海域ほど、珊瑚の白化・死滅の程度が増している。黒潮海域の広がりが、広域にわたって海水温を上昇させ、その結果として夏の高気温をもたらしたことを、珊瑚が身を挺して教えていると言える。この珊瑚を救う応急措置は、深層水の供給か、鉄運搬体の散布によって、局所的であっても水温上昇を抑えることであろう。

13 水辺で起きた植物進化物語

茶葉などの ESR(電子スピン共鳴) 計測すると、必ず鉄とマンガンのスペクトルが現れる。植物が葉緑体をつくる上で必須らしい。光合成過程でも働いているのかも知れない。鉄の供給を断つと、鉄欠乏性白化(葉緑体が消えて葉が白くなる)が起こる¹⁾。

次は、私の創作物語である「太古、すべての海は、今日のパンクーパー海峡よりもはるかに緑濃き海であったろう。その後の海洋反射能の低下は、地球を少しずつ温暖化し、陸地における生物環境条件を向上させた。海の植物進化で生まれた海藻は、岸辺の岩礁に付着する能力を獲得した。付着を確かなものにするために、岩礁の微細な凹みに自らの一部を侵入させた、つまり“根”を発生させた。さらに、根から腐食液を分泌して岩石に腐食孔を穿つ植物も発生した。腐食された岩石成分は水中に溶出し流失する。しかし、溶出成分中の鉄を捕まえて、根から吸収する能力をもち得た植物は、進化の過程で優位に立った。つまり、上陸能力を獲得した。」

今年 1 月、“水辺で起きた大進化”と題する書物が出版された¹¹⁾。ここで「大進化」は macroevolution の訳であって、新種の形成やそれ以上のレベルでの進化を指し、種内での進化＝小進化と区別される。上述の「植物進化と上陸」の議論を期待したのであるが、動物の上陸と進化の話であった。私は、中学 2 年生の「生物」の時間に、光合成について教えられ、強い感銘を受けた。植物のみが無機物から有機物を合成し、動物は植物に依存していることを知った。動物に先行する植物の上陸と進化があったと考えるのが素直であろう。

14 「鉄は生命素なり」

植物の根が分泌し、鉱物を腐食し、鉄を安定に捉えるキレート構造をもつ有機酸は多種類に及び、植物性鉄運搬体とよばれる。ミノリムギ固有のムギネ酸¹²⁾は、分子構造が解明され、人工合成法も確立されている。工業生産すれば、効率良くつくられると思える。天然生産されたものの場合、根から吸収されるのは一部分に過ぎず、大部分は雨水に流される。この鉄は沿岸海域に広がり、海の光合成植物を育てる。植物に依存する動物は、陸棲であれ海棲であれ、遊離の鉄に生殺与奪の権を握られていることになる。珊瑚と人類の生存基盤は共通である。「鉄は国家なり」では済まされず、「鉄は生命素なり」と言わずばなるまい。

陸上における照葉樹林、落葉樹林、針葉樹林の分布の合理性に対し、外洋の植物プランクトンの分布は不合理に思えることを先きに述べた。この不合理は、地球進化が外洋表層の 2 価鉄分布を貧しくしたことに基づくが、人間の森林破壊はそれを加速し拡大している。

15 地球の自己組織化に工業を組み込む発想

砂漠はなぜ生じるのか？ カオス的な対流圏の諸要因が関わるので、ことは複雑であろう。ただ、砂漠化と大気乾燥との関連は密接であろう。植物プランクトンの中には、水蒸気を凝縮させる核となる粒子をエアロゾルとして空中に放出するものがあり、雲の形成に関与するとのことである⁷⁾。雲が、日射を宇宙へ反射し、雨を降らし、放射冷却を緩和させるならば、砂漠の気候が穏やかになるかも知れない。海の緑化は、砂漠の緑化を助けるかも知れない。

森林再生努力は、すでに二酸化炭素濃度削減による地球温暖化防止プログラムに入れられている。しかし、森林再生が海洋緑化をも促進し、地球表面の 2/3 を占める海洋の反射能を高め、二酸化炭素ガスを固定化する副作用は勘定に入れられていないようである。

言葉のあやにこだわれば「地球環境保護」は、文明あるいは工業の環境傷害を緩めようという消極的なニュアンスを感じさせる。工業の特徴は、“規格品大量集中生産”によって高い効率で富を生み出すことにある。この工業発展を止めることはできない。ここで、地球環境の自己組織化過程に工業を組み入れるシステム、例えば、CO₂(光合成原料)が増えれば、自動的にそれを活用し

で減らす負のフィードバック ループを備えたシステムの形成を考えるべきではないのか。具体的には、植物性鉄運搬体を工業生産し、海洋散布を試みるシステムである。今日、新しいセンシング システムたる人工衛星が与える地球情報は、ますます増え精細化しつつある。これを解析し、鉄制御するシステムは可能であろう。

これは、農・林・水産業と工業とサイバネティクス(昨今の IT を含む)の融合をもたらす。植物プランクトンの増殖は、海産物を豊かにし、それを飼料にする畜産物を増す。もっと一般的に言えば、地球上のバイオマス(生物体の量およびそれから得られるエネルギーと工業原料)生産を高める。原子力や火力発電に比べると、太陽電池と同様に、光合成が利用し発生するエネルギー密度は格段に低い。

しかし、“光合成プラント”は生物の自己増殖によって広大な面積に建設され、無料で供給される太陽光エネルギーと CO₂ を利用できる。21 世紀は、この複雑適合系の自己組織化因子を発見し、“力づくでない制御”を試みる時代ではなからうか。工業が供給する殺虫農薬・合成肥料は“力づく”のように思える。物質的な制御因子の典型は触媒である。安定な水溶性の鉄は、微量で効く制御因子である。

16 海洋深層水の 2 価鉄

近年、海洋深層水が脚光を浴びている。水は、稀に見る多才な溶媒であるから、海水が多種類のミネラルを含むことは不思議ではないが、鉄は著しく少ない。しかし、深層水が辛うじて 2 価鉄を有するのは何故か。光合成植物がつくった酸素に酸化され海底に沈んだのは、表層の鉄だけであり、深層の 2 価鉄は太古の状態で温存さ

れているのかも知れない。

それには、表層の酸素が次第に深層へ拡散する過程にブレーキを掛ける負のフィードバック機構が要る。植物性、動物性ともにプランクトンの死骸はマリンスノーとなって海底まで降り注ぐ。酸素は拡散の途中で還元性のマリンスノーの酸化に消費され、深層には届き得ない。かくて、鉄欠乏の表層の厚さは増大し続けなくて、ほぼ一定値を保つというフィードバック仮説を考えてみた。

[参考文献]

- 1) 光藤裕之“ 今年の夏はなぜ暑いのか=セラミックスと植物と気候の関わり仮説= ” Materials Integration Vol.12, No.10~12. (1999, TIC 社)
- 2) 松井孝典著 “ 地球進化探訪記 ” (1994.3, 岩波科学ライブラリー)
- 3) 勝木渥著 “ 物理学に基づく環境の基礎理論 ” (1999, 海鳴社)
- 4) R. カンデル著, 飯山敏道訳 “ 気候の未来 ” (1993.5 丸善)
- 5) 国立天文台編 “ 理科年表 ” (1996 丸善)
- 6) 近藤純正編著 “ 水環境の気象学 ” (1994.4 朝倉書店)
- 7) 野崎義行著 “ 地球温暖化と海-炭素の循環から探る- ” (1994.3, 東京大学出版会)
- 8) 吉田秀樹著 “ よくわかる海洋深層水 ” (2000.8, コスモトゥーワン)
- 9) 鈴木淳, 川幡徳高 “ 骨格の酸素・炭素同位体比分析によるサンゴ白化現象の解析 ” Isotope News, No.556 (2000.9.) p.2
- 10) 日本経済新聞 (2000.9.26)
- 11) C. ジンマー著, 渡辺政隆訳 “ 水辺で起きた大進化 ” (2000.1, 早川書房)
- 12) 日本土壌肥料学会編 “ 金属関連化合物の栄養生理 ” (1990, 博友社)