３．微細藻から見た地球環境問題

(1)海洋

地球の海洋大循環は、北極海と南極海から始まります。北極と南極で氷結すると、氷は純水だから、残った海水の比重が大きくなり海水が深海へ沈みます。グリーンランド沖とウェッデル海との２か所に直径100m に及ぶ海水の下降流があるらしい。北極で沈んだ下降流はそのまま南に流れ、南極のウェッデル海からの下降流と合流し、東に流れ 2,000 年の大循環となります。その間マリンスノーが窒素とミネラルを補給します。

北半球で、生命活動は春先の北極海の微細藻のブルームがから始まります。北極海で微細藻のブルームがあり、同じ条件とみられる南極海で植物プランクトンのブルームが起きないのは鉄のせいだと発見したのはマーチン博士でした。

北極海で微細藻のブルームが起こり、微細藻を求めて、魚類・鳥類・クジラまで、北極海へ移動します。こうした微細藻のブルームに大きな変化が現れたのを NASA の地球観測衛星アクア(Aqua)が見つけたのは 2003 年のことです。

海洋での微細藻の挙動を考える時、海と陸地の生物の生産性を調べる必要があります。海洋大循環内に含まれる反応性窒素(N_R)は海の生産性の源です。さすがにあまりデータはありませんが、次の数値が参考になります。;

その１:海の微生物より(前掲単位を変換)

海域　　面積　km^2	生産量 TgC/年(T:テラ)
大洋　　$3.26x10^8$	16,300
沿岸域　$3.6x10^7$	3,600
湧水域　$3.6x10^5$	100

その２;海の生態学より(単位を変換)

	生産量 TgC/年(T:テラ)	
陸上の森林・草原	22,000-32,000	Vallentyne(1965)まとめ
海洋	22,000-28,000	Steemann-Nielsen らによる
海洋	60,000	Riley による

これらの数値は、植物の光合成がどれ位かの推定値です。陸地、海洋の面積は測定できますから、光合成効率がどれ位か推定することと同じことです。

ここで、ちょっと気になったことがあります。これまで、海の窒素は全て海洋大循環によってもたらされると思っていたのですが、上の表をみるとそれはどうも違うらしい。というのは、大洋の生産量は 16,300TgC/年、沿岸域は 3,600TgC/年、湧水域は 100Tg/年とすれば、大洋の生産量は湧水域の 163 倍もあり、海洋大循環でもたらされる窒素の内湧水域内で消費されるものはほんのわずかであると考えるべきでしょう。生産量を律するものは何であるかもっと真剣に考える必要があると思えてきました。

光合成は、次の反応です。

$6CO_2$（炭酸ガス）+ $6H_2O$(水) → $C_6H_{12}O_6$(炭水化物)+ $6O_2$(酸素) （光、栄養塩、ミネラル）

炭酸ガスと水が光合成色素の助けを借りて炭水化物と酸素に変わる反応です。炭酸ガス濃度は先のグラフのように変化していますが、時代毎に不変の因子です。光も不変となれば、栄養塩と光合成効率が律速因子です。上記に示した生産量は、Steemann-Nielsen や Riley が効率をどう設定したかで決まりますが、1%以下のところで決定されており、現実に農地や微細藻培養池の現場で観測される数値から考えても納得できる値ですが、この値を見る限り、地球上では海洋が 70%、陸地が 30%ですが、大洋・沿岸域・湧水域の差に見られるように、海の方が栄養塩が少なく、結果として陸上と海洋の生産性はほぼ同じという推定です。

微細藻の視点から海に関する問題を整理すると、

その１：化学肥料の過多使用により農地から河川を通じて海洋に流入した反応性窒素の量が増え、自然界のバランスを超え、海洋に蓄積している。

その２：海洋の反応性窒素の増加が、珪藻優占だったフロラを変え、魚介類の餌に適さない藍藻などに変えている。（後項、湖沼参照）。

その 3: 北極海で、従来の珪藻のブルームに加え、円石藻のブルームが観測された。

その 4: 中国長江の冨栄養化が進めば東シナ海の魚が激減（日経 2002-5-6）

先に<u>微細藻とは</u> をまとめた際、微細藻の組成を示しました。そこで、珪藻の灰分が最も高濃度のもので、57%のものを紹介いたしました。この珪藻に注目すると、成長のために多くのミネラルを必要とします。逆に考えればこの珪藻はミネラル不足の海では成長できない筈です。上で提示した事例はいずれも、微細藻の成長の律速因子に変化が見られることを意味します。微細藻は食物連鎖の一次生産者であり自然界で生物が生きていく上で重要であると申し上げました。微細藻は光合成で、炭酸ガスと水から炭水化物を作りますが、その際、反応を支配する炭酸ガスと水以外の条件、それは、水温・ミネラル・塩分濃度・pH などですが、地球温暖化、冨栄養化などにより海水の条件が変化したことが微細藻種の変遷をもたらしたことは疑いなく、かつ海の生物に大きく影響していることは間違いありません。

海で起きていることは、先ず始めに湖沼ではじまります。上記の事象のうち、その１,その２は湖沼から始まります。湖沼で起きることは次項に回し、ここではその3に付きお知らせしましょう。

気候変動により、北極海の氷の裏側に微細藻のメガブルーム起きて、研究者がショックを受けているとの報告です。

従来から北極海の氷の裏には氷藻（ice－algae）という微細藻が生息していましたが、光不足であまり成長できなかった種、円石藻が長さ 60 マイルにも及ぶメガブルームを起こしました。円石藻は光条件の良い亜熱帯の貧栄養の安定した気象条件下で見られましたが、荒天冨栄養の代表的海域であるベーリング海での発見は初めてです（2003-4）。従来この海域は珪酸を含む珪藻が主体でした。

地球温暖化が原因で氷が薄くなり、光環境変化が円石藻のブルームに結びついたと推論されていますが、話題提供者はこのような種の変換は食物連鎖の観点から困ったことだと考えます。

参考文献

1. 沼田真「海の生態学」(築地書館、1973)
2. John Martin,(Earth on Ice), Discoverr,1991
3. Megabloom' of tiny plants under Arctic sea ice tied to climate change-US News

(2)湖沼-宍道湖で何が起きたか？

宍道湖の歴史は、斐伊川の歴史と相俟って島根県の歴史のようです。わずか 10,000 年前には斐伊川は西に流れていたというのも驚きです。身近なところで、宍道湖のシジミですが、1950 年頃、漁獲量は、100-200 トンだったようです。その後 1973 年には漁獲 19,000 トンに達していますが、これは 1960 年以降の動力船や機械による漁法などによるものです。その後、乱獲により資源が減少し、2009 年現在 3,400 トンとなったのは寂しい限りです。(斐伊川：河川情報センターより)

左(西)は宍道湖、右は中海です。夫々、79.1km^2,86.8km^2 で、日本で 7 位および 5 位の湖ですが、2 つ合わせると、琵琶湖、霞ヶ浦に次ぐ第 3 位の湖です。西から斐伊川が入り、中海へ流れる大橋川、北の境水道を経て日本海へ流れます。2つの湖は水位差が小さいので、境水道と大橋川とを経由して、海側から海水が流入する一方、上流斐伊川からは淡水が入り、上流から下流へと段々塩分濃度が濃くなります。宍道湖はかって塩分濃度の低い汽水湖で農業用水としても利用可能でしたが、1928 年の大橋川拡幅工事により水位が下がり塩水が逆流して塩分濃度が上昇、塩害が発生しました。これまで 12cm あった宍道湖・中海の水位差が 3-4cm と小さくなったことが原因です。これが後の中海淡水化計画のきっかけとなりました。

微細藻の立場からこの問題をみますと色々なことが判ってきます。

1928 年の大橋川改修以前は、宍道湖はわずかに塩分はあるものの、水泳に適し、シジミが生息する汽

水湖で、中海は塩分濃度は海水の 20-50%の汽水湖であり、赤貝が群生していました。その後、シジミや赤貝の漁獲に変化が起きました。変化は宍道湖と中海で大きく異なります。宍道湖ではシジミ漁に変化が起き、動力船の導入と機械による漁法の導入で、一気に漁獲は増えましたが、時に塩害のため農業用水の取得が困難になる事態が起きました。中海はちょっと事情が異なり、1950 年から 1968 年の 18 年間で赤貝の漁獲が激減し、1967/68 年の貝類漁獲はｾﾞﾛ(安来資料編集委員会による)になりました。1959 年の夏、汚濁のために宍道湖が遊泳禁止となりました。松江市の影響を受けやすい宍道湖東部の水質はわずか 3-4 年で COD が 2 倍に増加しました。1955 年頃より、農耕地では化学肥料が使用され、屎尿は農地に還元されず、さらに畜産業の多頭飼育、工場および家庭排水などあり、宍道湖にヒト由来の反応性窒素が排出されました。

宍道湖のシジミ漁獲は、1950 年当時、100-200ﾄﾝであったものが漁法の変化などで、1973 年の最高値 19,200 ﾄﾝまで増加しました、その後減少し、2009 年の 3,400 ﾄﾝとなっています。全体として窒素/ﾘﾝによる富栄養化に起因する微細藻種の変遷(珪藻から藍藻)が原因です。途中極端に漁獲が減少した時期がありますが、多雨による低塩分のためのｱｵｺが発生し、シジミの大量斃死が起きています。中海の赤貝は 1960 年代の絶滅以来復活することはありませんでした。

この間の事情を説明するデータがあります。

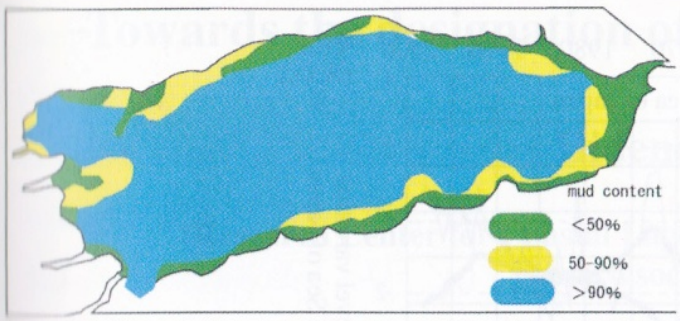


Fig. 1a. Mud content in Lake Shinjiko
図 1 a. 宍道湖の含泥量

International Seminar on Restoration of Damaged Lagoon Environments, January 10-11 2006, Japan

左は宍道湖の湖底の現状です。水色はヘドロが 90%以上のところ、黄色は同じく 50-90%のところ、緑は 50%以下のところです。斐伊川など河川の流入する緑の部分がありますが、90%以上で湖底をヘドロが覆っています。ヘドロは藍藻など魚介類の餌とならない微細藻が腐って沈んだものです。シジミ漁獲が最盛期の 18%になった理由が判ります。

中海の富栄養化はもっと深刻で、1970 年時点で、湖底の 1/3 はヘドロに覆われたと報告されています。貝類が絶滅したのは先に記述した通りです。

【宍道湖で何が起きたか】

宍道湖で何が起きたか、微細藻の視点で詳しく観察してみましょう。

昭和初期―1950 年代

1941 年 3 月塩分濃度は海水の 3-10%で、西から東に順次高くなっており、主に東部から渦鞭毛藻のケラチウムや海産の珪藻グイナルディア、リゾソレニア、スケレトマなどを、西部からは淡水性緑藻のアオミドロや淡水産珪藻のハネケイソウなどが報告されています。湖水全体から多く見られたものは珪藻ナビキュラでした。

1960―1970 年代前半

主として藍藻（ｼｱﾉﾊﾞｸﾃﾘｱ） リングビア、クロオコックス、メリスモベロア、緑藻プランクトネマ、オーキスチス及び珪藻キクロテラと報告。さらにこの調査以前には珪藻を主とするフロラ(植物相)でしたが、淡水産のｼｼﾞﾐ漁獲 9,700 ﾄﾝ藍藻類と緑藻のフロラになったと付け加えています。

この間、中海については、1949 年の調査で、28 種類の内、25 種が珪藻で大部分がキートセラスであったとのことでした。先にも述べたように、キートセラスの成育には、珪素が必要です。微細藻の立場から見てヒト起源の窒素・リンのみが増え、ダムの建設などで、珪素はむしろ減少する状況下で、窒素：リン：珪素の比率が珪素不足に推移し、汽水湖が珪藻から魚介類の餌に適さない藍藻のフロラに変化しています。餌に適さない藍藻は食べ残り、腐敗し、ヘドロとなり、魚介類は死滅します。有機物が腐敗する際、酸素不足の水域ができ、魚介類の大量斃死に結びつきます。

1970 年から現在まで

島根県衛生公害研究所は 1975 年から微細藻発生の指標となる COD(化学的酸素要求量)を測定してきました。その結果判ったことは、1965 年から現在まで、ほぼ毎年珪藻類のキクロテラ族の数種が優占し、塩分濃度の低い年は、淡水性藍藻類のコエロスファエリウム、ミクロキスチス、緑藻類のプランクトネマ、イカダモ、淡水～汽水に出現する珪藻類のキートセロスなどが増減しながらもたびたび出現していることでした。アオコも起きています。塩分濃度が例年より上昇した年は渦鞭毛藻のプロロケントルム、珪藻類のスケレトネマが優占します。

これまで判ったことは、宍道湖の微細藻は塩分濃度によって種が変わり、2%を下回ると藍藻が優占種となって赤潮になり、旱魃のあった 1974 年はスケレトネマに変わっています。話題提供者はこの原因は斐伊川の水量が増えると、窒素・リンを多く含む河川水が藍藻を増やすと理解しています。ご覧頂いた事象は今皆が気付いたものではありません。冨栄養化が話題となって久しいし、近くは UNEP 報告でも、中国・インドを含む北半球での河川の汚染が著しいと報告されています。

特に微細藻の観点から、この問題を検討すると新しい事実が見えてきます。前項の微細藻の組成を見てください。宍道湖で塩分濃度が低く赤潮が起きる時期に発生する渦鞭毛藻と藍藻(シアノバクテリア)には高たんぱく質のものが多く、塩分濃度の高い時期に発生する珪藻には灰分が多いことです。宍道湖に流入する斐伊川の水量が増えると、塩分濃度が低下すると同時に反応性窒素の流入のみ増え珪素

不足で、渦鞭毛藻と藍藻が増え珪藻が減ることになります（パナマ湾の例では全微細藻の96%が珪藻です）。これは自然の海では珪藻が優占種だということを意味します。話題提供者は塩分濃度が減ることはむしろ、窒素濃度が増え、灰分（珪素）も減少したと理解するのが正しいと考えています。湖の環境変化は、海の環境変化の先ぶれです。斐伊川で起きたことは世界の河川で起きています。珪素: 窒素: リン比率の変化が微細藻種の変遷をもたらしています。長江、黄河、ミシシピー、ライン、ドナウなどで顕著です。

ここで、宍道湖への反応性窒素の収支を調べてみることにしました。
次の表は、宍道湖・中海の諸元、および流入窒素・リンの推定値です。河川流入量は諸元より計算し、流入窒素濃度、リン濃度は、湖水濃度の計測値から逆算しました。

宍道湖中海の諸元

	単位	宍道湖	中海
水面積	km^2	80.3	96.9
水容積	億 m^3	3.66	5.21
平均水深	m	4.5	5.4
最大水深	m	6.4	8.4
滞留時間	年	0.3	0.4
流域面積	km^2	1.288	595
流域人口	千人	271.8	157.8

流入窒素・リンの推算

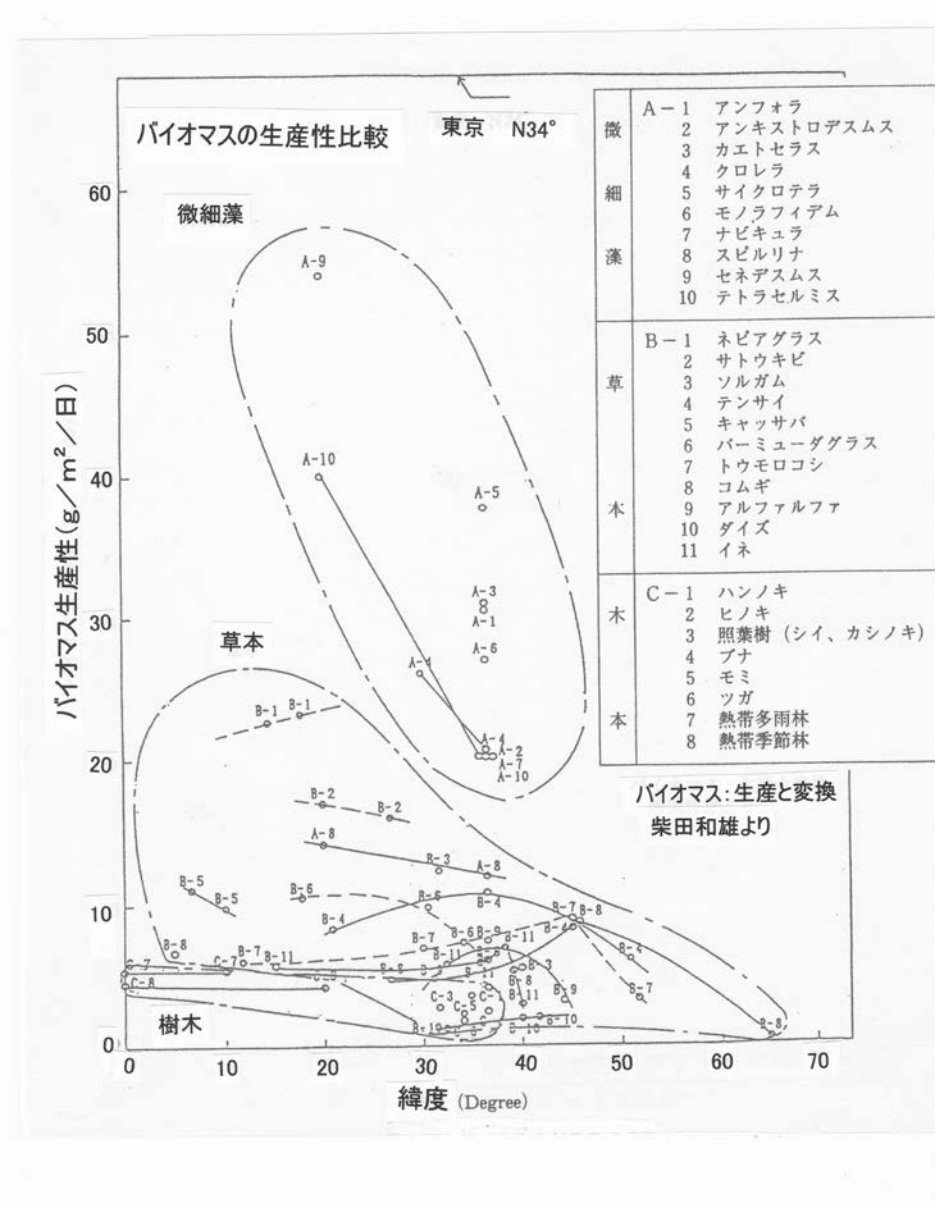
	単位	宍道湖	中海	
河川流入量	トン/日	3.34×10^6	3.57×10^6	上表より計算
窒素流入量	トン/日	4.3	3.2	島根県 HP より
湖水窒素濃度	ppm	0.5	0.6	SAJINF 144/153
流入窒素濃度	ppm	1.3	0.9	
リン流入量	トン/日	0.3	0.32	島根県 HP より
湖水リン濃度	ppm	0.035	0.035	SAJINF 144/153
流入リン濃度	ppm	0.09	0.09	

上の表で、湖水濃度とあるのは、日本の公害第10巻(川名英之)よりの抜粋で、実測値、流入濃度とあるのは水量と流入値から逆算したものです。流入濃度と湖水濃度に差がありますがこれは湖水の滞留時間から見てこの流入濃度では汽水湖の浄化能力が不足し、湖水に窒素・リンが沈降蓄積し、湖水が冨栄養化し魚介類の減少に繋がっていると思われます。

この表の示唆するところは、例えば、宍道湖の窒素についてみれば、湖水の窒素濃度は、0.5ppm ですが斐伊川が宍道湖に入るところで窒素濃度は 1.3ppm で湖水濃度の 3 倍近くの濃度になっていることです。1.3ppm 濃度で入ってきた窒素は宍道湖で微細藻の光合成により0.5ppmまで低下するもののそれ以下に減少することはなく、現在に至っています。

次のグラフに木・草・微細藻の生産性を比較しました。木・草・微細藻の順で g/m²/日のバイオマス生産性を示しています。同じ生物では赤道近くのものの生産性が高くなっています。微細藻については、炭酸ガス注入下での生産性を示しています

。



植物には、樹木、草本、微細藻とがあります。縦軸は、1日当たり、1m^2当たりの生産量、横軸は地球上の緯度となっています。生産性の高い順に、微細藻グループ、草本グループ、樹木グループとなっています。例えば微細藻サイクロテラ(A-5)の生産性は 38g/m^2/日、イネ(B-11)の生産性は 7g/m^2/日となります。同じイネでも東京とインドネシアとでは、生産性が違います。色々な文献から集めたデータですが、微細藻グループ、草本グループ、樹木グループでは明らかに微細藻の生産性が高くなっています。微細藻は単細胞で薄い細胞膜を持って水中に漂っているので、ミクロの光合成反応器であること自体高性能の理由ですが、微細藻の生産性を炭酸ガスを吹き込んで測定したのであたかも大気中の炭酸ガス濃度が高かった時代と同じような条件で測定したことによるものです。自然の池と培養池とでは炭酸ガス溶解速度が異なるので、さらに好条件になっています。ちなみに大気中からの炭酸ガスの溶け込み速度は 5gCO_2/m^2/日程度であります。

微細藻で何ができるかではなくて、微細藻活躍の場を奪ったのは誰かを考えることが必要です。微細藻は生産性が高いと説明しました。宍道湖の微細藻の生産性は 30g/m^2/日ぐらいです。微細藻を魚介類が食べる。食物連鎖を考えると、3g/m^2/日の動物性たんぱく質が得られる計算です。上流の水田地帯の稲の生産性は 7g/m^2/日です。20%が米とすると、1.4g/m^2/日です。人口増の世の中で、2倍以上のたんぱく質が作れる場を、炭水化物の生産に使って良いものでしょうか。

ここで、状況を整理してみます、

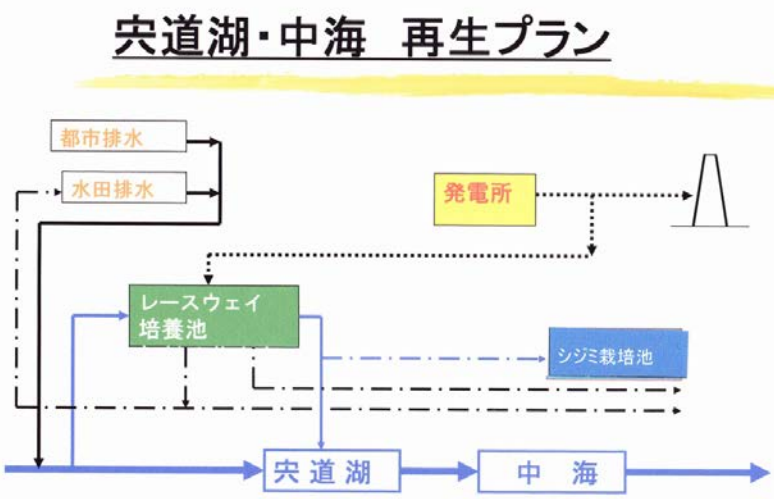
その1：川上から流入するヒト由来の反応性窒素(N_R)流入量の増加により、宍道湖の微細藻が珪藻から藍藻に変化しました。魚介類の餌とならない藍藻がヘドロとなって湖底に蓄積しています。化学肥料の使用は減らし、有機肥料に変えるべきです。同時に排水処理の高度化が必要です。

その2：微細藻種変遷の原因は、N_R 増加に加え、窒素：リン：珪素比率の変化です。流入窒素見合で珪素を増やし湖水環境を珪藻の住む環境に戻すのも選択肢の一つです。現在ヘドロは汽水湖の邪魔者ですが、元を辿れば、微細藻の死骸です。窒素・リンの資源であることは間違いないと考えます。汽水湖内での再利用と汽水湖の再生が急務です。

その3：宍道湖で起きている現象は世界の海で起きつつあることの、モデルです。

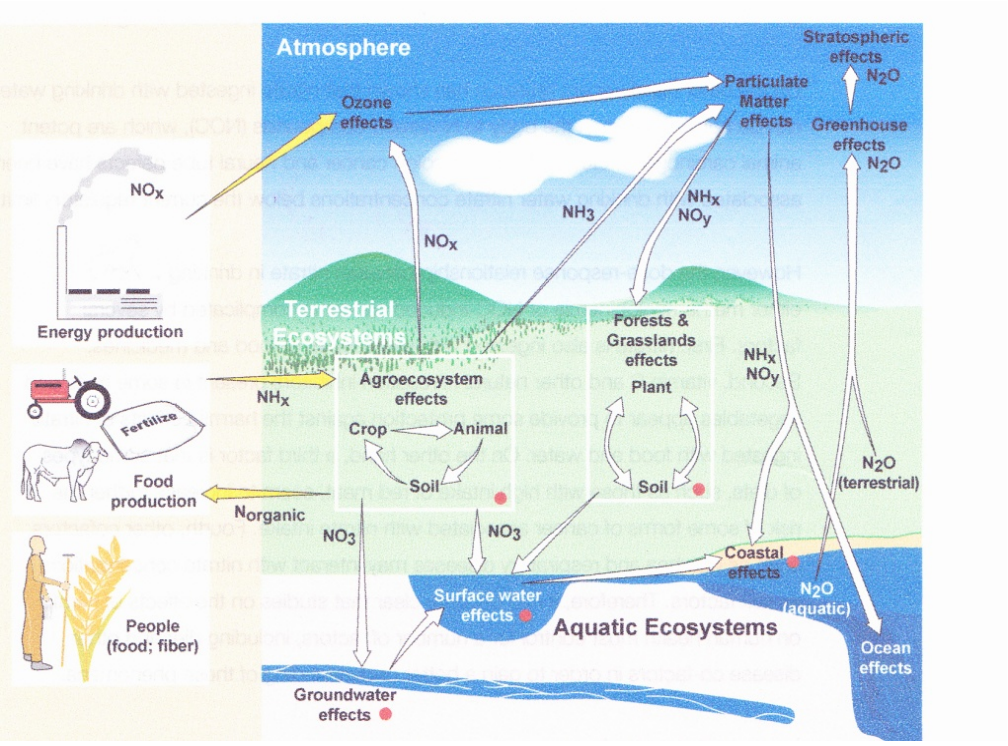
その4：微細藻が汽水湖の水質浄化に貢献し、飲み水を作っていることも忘れてはいけません。

話しを宍道湖に戻しますと、宍道湖入る窒素濃度は 1.3ppm で、宍道湖の窒素濃度 0.5ppm の 3 倍近くになっています。つまり、宍道湖の浄化能力を超えていることになります。このまま放置すればさらに水質が悪化することは避けられません。微細藻の特徴の一つは、水の中に生息して水中の窒素・リンを使って成育し、水を浄化することです。もちろん、樹木、草本、微細藻の中で、こんなことができるのは微細藻だけです。宍道湖が昔にもどれば、水域の地球環境対策の良きモデルになると考えます。



都市排水、水田排水中の窒素・リンを除去し、浄水を得るため。レースウエイ培養池で珪藻を栽培する計画です。光合成の炭酸ガス源としては発電所排ガスを使用します。栽培された珪藻はシジミ稚貝の餌とします。

ここで窒素循環の全体像を見てみましょう。世界でこの問題の重要性が認識されてきました。



上の図は、UNEP: Reactive Nitrogen on the Environment 2007 よりの 抜粋です。宍道湖の姿をよく表現していますが、我々の経験は上の図に新たに加えるべきものがあることを示唆しています。それは、宍道湖には既に蓄積されたヘドロがあり、湖水の生態をかなりなまでに変えてしまったことです。ヘドロとは藍藻の死骸のことです。

これまで検討して気づくことは、物質と生命の循環の観点から見て、我々が知るこの問題の本質は、問題が循環ではなく、これまでなかった物質が連続的に際限なく増加し、地球に加わり、蓄積し、生命に大きな影響を与えていることです。例えば、反応性窒素が増加し、人間は増加しましたが、一方で海が汚染し魚介類が激減したこと、長い時間を掛けて地中に蓄えた化石燃料を短期間に取り出して気温を上げ、空気中の炭酸ガス濃度を上げ、珪酸を含む珪藻を炭酸塩を含む円石藻に変えた可能性があることなどです。遅きに失する気もするけれど、できることから対策する必要があるのだと考えます。

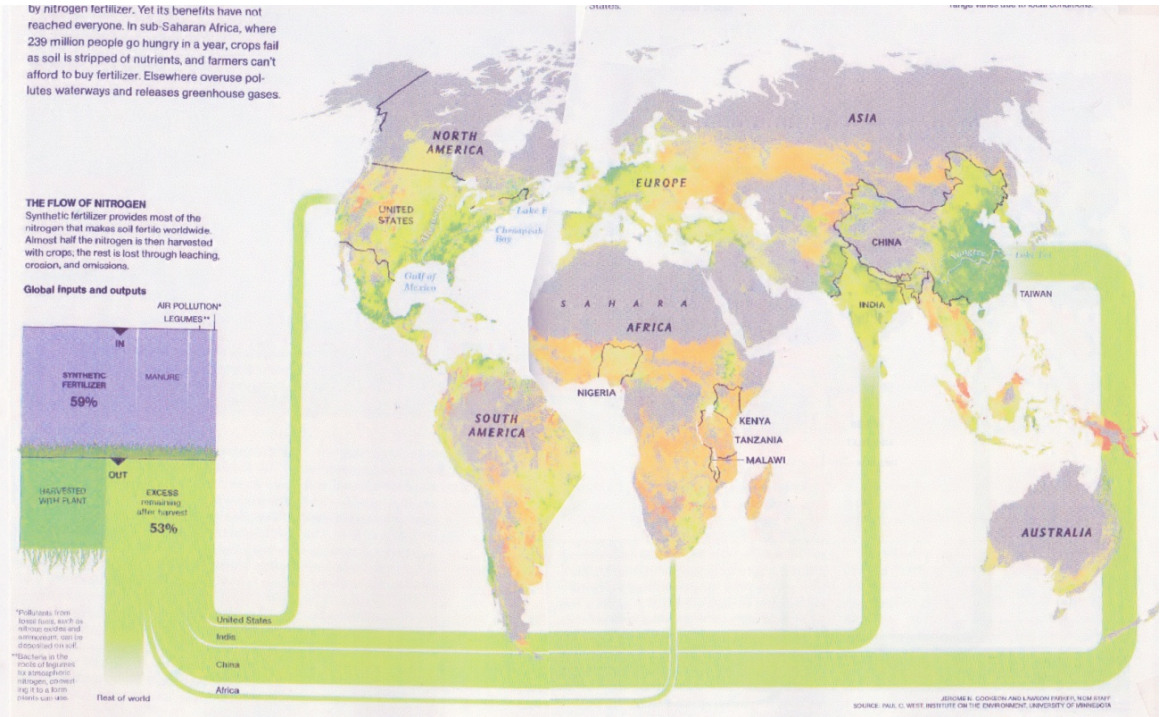
参考文献

1. Yoshi のブログ 2011-11-23
2. セミナー：中村幹雄「宍道湖の環境と生物について」
3. 文春(2002-2-16),「宍道湖のシジミ」
4. 大谷修司、宍道湖・中海水系の藻類、島根大学、1996
5. 海洋環境の科学、東京大学出版会、1977
6. 浜崎恒二「海洋微生物生態学入門」、2002
7. システム学会「新たな時代の食料生産システム」
8. 人間自然科学研究所「太陽の国 IZUMO」
9. SAJ INF 144/153,内部資料
10. 生田義明、マイクロアグリカルチャーの推進、農業経営者、2002
11. UNEP:Reactive Nitrogen on the Environment,2007
12. 斐伊川、(財)河川情報センター
13. Y.Ikuta, MICROAGRICULTURE-BIOFIXATION OF CO_2USING NITROGEN- FIXING MICROALGAE IN RICE FIELDS, Greenhouse Gas Control Technologies,2003

微細藻から見た地球環境問題

(3)水田

海、湖沼に続き水田について考えて見ましょう。ここで水田とは陸上全体、又は農業との意味合いです。最新のナシィナルゲオグラフィック(2013-5)で面白い記事を見つけました。



上の図のタイトルは[ごちそう、それとも飢餓]です。

反応性窒素(N_R)が、ここまでの課題でしたが、ここでも窒素が話題です。ここ 10 年窒素の問題に取り組んできましたが、今日最新のナショナルゲオグラフィックでこの問題が取り上げられたことに驚いています。ここでの課題は、増加する化学肥料の利用と、農業における肥料利用効率の低さです。この問題は後の章でも取り上げますが、通常の農業と微細藻を使う農業(マイクロアグリカルチャー)との差異は前者が土壌利用による開放系であるのに対し、後者は閉鎖系で植物が必要とする量の化学肥料を供給すればよく全く効率が異なることです。

上の図は、自明ではありますが、記事の本文より内容を補足しますと以下の通りです。

地図上で国に色がついていますが、緑色が濃い国は化学肥料過剰使用で余剰分が地下で流れ出るところ、赤色の国は化学肥料が今でも不足している国です。薄緑色の帯は夫々の国から流れ出る余剰分で、余剰量は帯の幅で表現されています。ごらんのように、余剰量の多い順に、中国、インド、米国、アフリカとなっています。

地球上で利用できる肥料は、多い順に、化学肥料、糞尿など人為的肥料、マメ科植物の窒素固定、大気汚染によるものの順で、内化学肥料が 59%を占めます。問題の余剰反応性窒素は、地上で利用できる肥料の 53%です。つまり、地球上で利用できる肥料のうち、実際植物として収穫されるものに含まれる

ものは 47%に留まるということです。奇妙なことに、化学肥料が全体の 59%を占めており、余剰分が 53%で、意地悪な言い方をすれば、この結果は肥料の利用効率が 100%なら、59%−53% = 6%つまり、化学肥料が現在の 10%あればよいことになる理屈です。

本文のポイントを箇条書きにしてみましょう。;

a.地球上に巨大な工場があって、毎年化学肥料を供給しています。事実この工場がストップすると、70 億人の地球人は生きていけない。我々の体、筋肉や、内臓や、を構成するたんぱく質は窒素から出来ており、体内のたんぱく質の半分以上は化学肥料の産物です。

b.使い残した化学肥料は川を経て海へ流れ魚介類の生存を脅かしている。

c.化学肥料の 30−60%は、過剰投与または誤使用である。有効利用が期待される。

d.中国で 40 の湖沼で水質調査を実施したところ、半数以上で富栄養化が観察された。

e.2007 年、太湖でシアノバクテリアの大規模ブルームが観測された。

f.ミシッシピ川が富栄養化に漁師が大打撃を受け、さらにメキシコ湾にシアノバクテリアが大量出現し、死滅分解し死の海（dead zone）ができた。

g.中国は今後なお人口が増加すると考えられており、化学肥料の使用量は増加すると考えられている。

h.有機農業が全てを解決するとは考えていない。

I. 新しい農業モデルが必要である。

中国・インドで過多使用が叫ばれる中で、アフリカで化学肥料不足で飢餓に瀕しています。上の図で余剰化学肥料発生は、主として中国・インド・アメリカの小麦・米・トウモロコシ農場が原因です。

日本は窒素収支に関しては、全く異様な国と言えます。それは食料自給率の低さに由来します。

日本の窒素収支(2010年)

		自給率	総需要		国内生産		輸入	
	N%	%	万ﾄﾝ	N 万ﾄﾝ	万ﾄﾝ	N 万ﾄﾝ	万ﾄﾝ	N 万ﾄﾝ
穀類	2.00	27	3,476	70	932	19	2,544	51
魚介類	2.84	54	983	28	475	13	508	14
豆類	6.18	8	404	25	32	2	372	23
肉類	2.90	56	593	17	322	9	271	8
合計			5,456	140	1,761	43	3,695	96

上の表は農林水産省の平成 22 年(2010 年)現在の食料需給表の分類のうち、窒素に関係の高い順に、4項目を抜粋して、自給率、国内生産、輸入を記載したものです。全 11 分類中、4 項目ですが、窒素に関して総量の 90%以上をカバーしています。各項目の窒素含有量は、四訂食品成分表を参考に推

定しました。窒素に関する限り、食料・飼料の生産に肥料が使用され、食料・飼料中の窒素は、ヒトおよび家畜の体内にタンパク質として固定されるもの以外は体外に排出されますが、結果から見ると、海外から 96 万ﾄﾝ/年もの窒素を輸入し、大半を海に排出していることです。反応性窒素の蓄積が大きな問題となりつつある現在、留意しなければならない問題です。

参考文献

1. NATIONAL GEOGRAPHIC, MAY 2013
2. 生田義明、SAI INF92,日本の窒素バランス、2006(内部資料)
3. 生田義明、SAI INF48,微細藻を取り巻く外的環境、2004(内部資料)
4. 農林水産省平成 22 年(2010 年)食料需給表
5. 四訂食品成分表
6. 食料自給率 Wikipedia