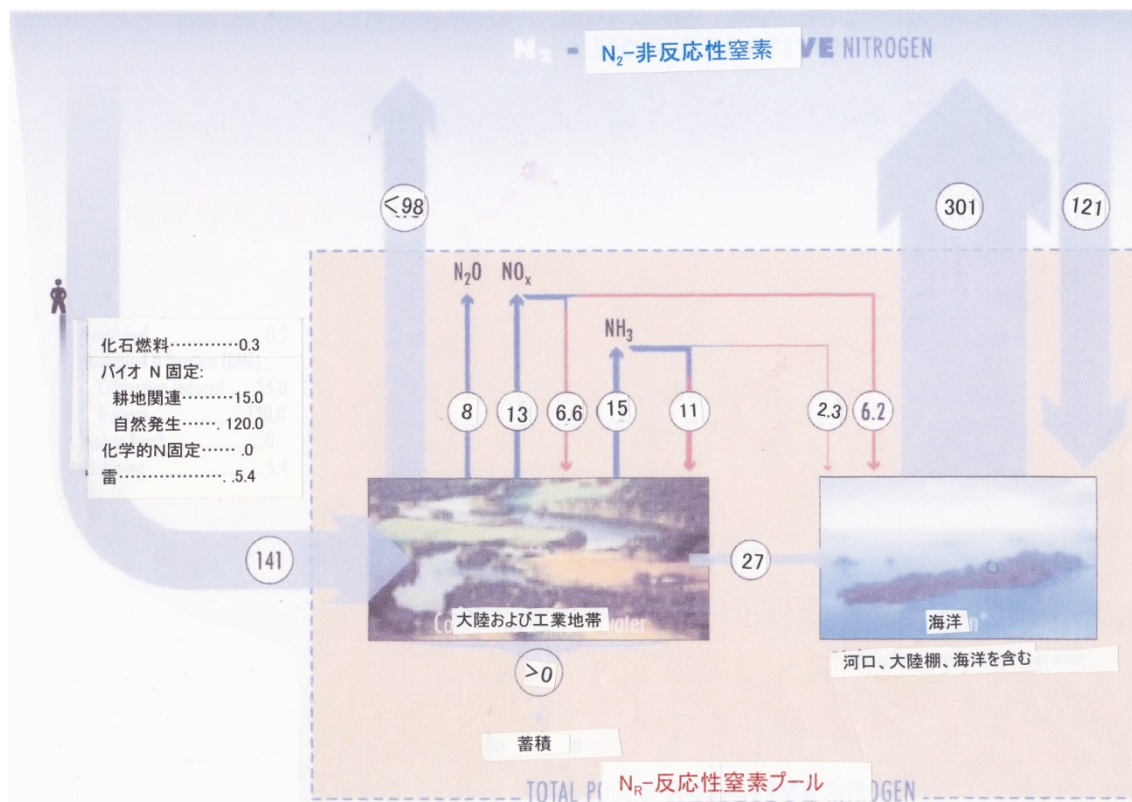


危機的状態の地球窒素循環

1. 物質と生命の循環における微細藻の役割

地球上で窒素循環が危機的状態であると言ったら驚かれる方も多いと思います。地球の大気中に78%もある窒素がなぜ危機的状態かという疑問です。およそ46億年前地球ができた時窒素ができ、以来窒素には何の変化もない筈です。窒素と、炭酸ガスと、水蒸気だけだった大気が、冷えて、海ができ、大気はほぼ窒素と炭酸ガスになり、やがて海水中で、その時やっと単細胞にまで成長した微細藻(シアノバクテリア)が酸素も作り、大気中に酸素やオゾンもできたのは今から27億年前のことです。27億年前から6億年前まで、20億年かかって光合成生物が酸素を作り、およそ3億年前には地球上の大気は現在とほぼ同じになったと言われます。窒素は大気中の78%です。

大気中に窒素は2原子が安定した結合 N_2 として存在しますが、問題は反応性に富む窒素 N_R です。炭素や、水素や、酸素に比べて、生物中で窒素の量的な貢献はマイナーです。ところで、初めの3つは生物の組織構成要素ですから、食物や水から簡単に取り込めるのに対して窒素は大気中にロックされていて簡単には取り込めません。ほんの少しだけが生き物に吸収できる形で存在します。このちっぽけな量が実は決定的に重要なのです。なぜなら、窒素はRNAとDNAの成分だからです。下の図は、地球上の窒素の物質収支です。1860年の数値(テラg/年)で、UNESCO-SCOPE Policy Brief(2007)よりの抜粋です。

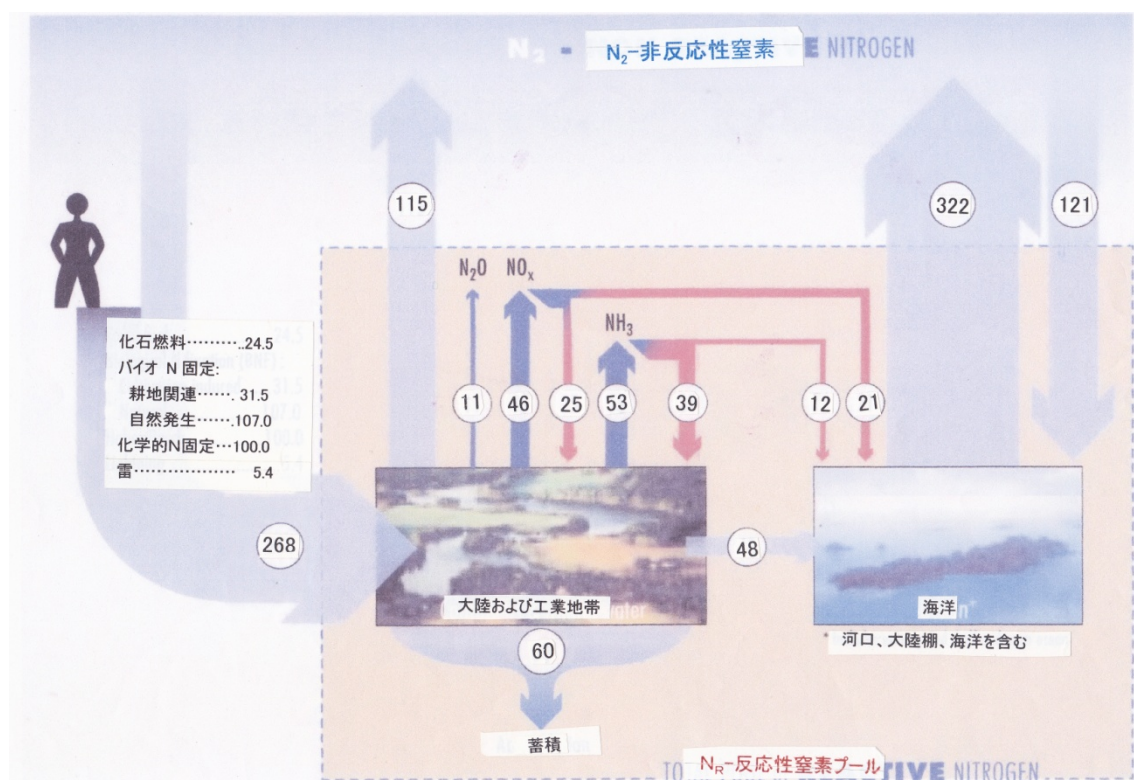


茶色の部分が N_R -反応性窒素プールです。

地球への窒素入力、化石燃料、バイオ窒素固定、雷です。反応性窒素は大陸および工業地帯で N_2O , N_2O , NH_3 , に変わり、一部は海洋へ流れ、これが一番重要だと思うのですが、蓄積されます。蓄積された窒素は毎年増える理屈です。1860 年時点では、海洋への流出はあるものの、大陸での窒素の蓄積はありません。生物の発生以来、うまく循環してきたわけです。

大陸および海洋のバイオ窒素固定は、微生物によって行われます。具体的には、豆科植物の根につく根粒菌 (*Rhizobium*) とシアノバクテリア (藍藻とも言います) とによってなされます。その意味では、今回話題のシアノバクテリアも立派な主役の一員です。微細藻の一種シアノバクテリアは単細胞植物で、水中に浮遊して生息しますが、一部のシアノバクテリアは水上植物 (アゾラ) などと共生して生息しています。

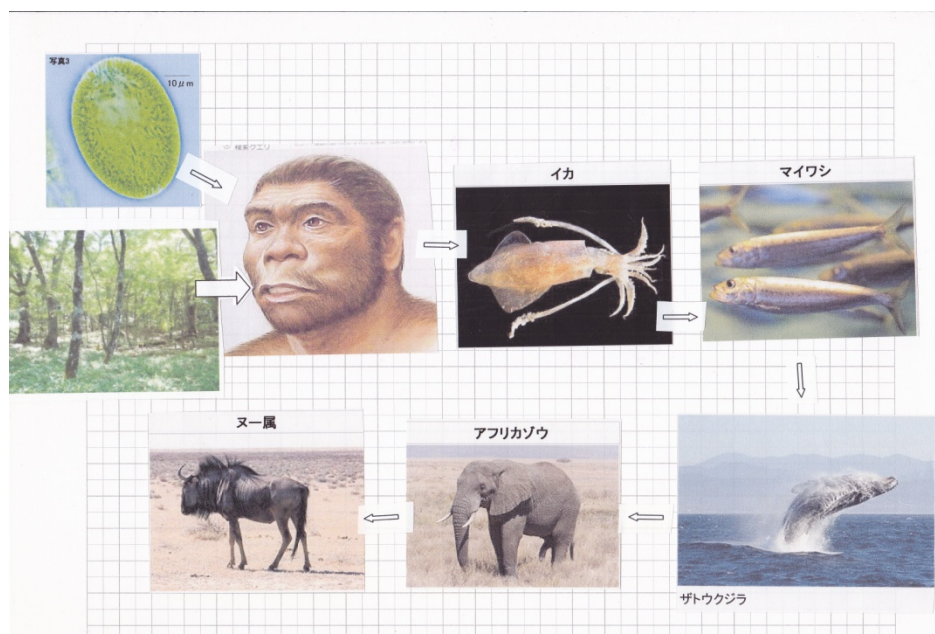
下の図は、最近の地球上の窒素 (N_R) の物質収支です。1995 年の数値で、UNESCO-SCOPE Policy Brief(2007) よりの抜粋です。



注目して頂きたいのは、化学的 N 固定です。近年化石燃料が増えたり、耕地が増えたのは納得のいく話ですが、問題は化学的 N 固定です。1860 年に存在しなかったものが化学技術の進歩で新しく生み出されました。ハーバー・ボッシュの化学的窒素固定です。地球への合計入力として 1860 年に 141 Tg/年 だった反応性窒素 (N_T) は、 268 Tg/年 に増加しています。地上から大気へ逃げる N_2O , N_2O , NH_3 の量が変化するのは当然のことですが、1860 年まであまり変化なくバランスを保っていた地上の反応性窒素 (N_T) が急激に増えているのは問題です。

もう少し詳しく見てみましょう。141Tg/年から268Tg/年に変わった差の127Tg/年がどうなったかということですが、一番多い蓄積が60Tg/年、海洋へのリークが48Tg/年です。残りは大気圏に逃げますが、大気圏への逃げについては、既に多くの議論があるので、ここは、それ以外について考えたいと思います。

1860年に12.7億人だった世界人口は1995年には27.7億人と増加しました。人口増加に影響する要因の内最大のは食料の増産です。(Hydeの推定より) 化学肥料の増量(100Tg/年)が人口増加に寄与したことは疑うべくもありません。さらに、2012年に70億人とこの間42億人も増加していますが、人口増の比率で化学肥料が増加していると考ええると驚きです。人口増加の地球への影響を考える時、真っ先に思いついたことは、この問題の本質は何かということです。それは、人口増加が地球の食物連鎖に大きな変化を及ぼしている筈であるのではないかと思います。地上の全ての生き物は、これまである種の食物連鎖の中で生きて来ました。1860年から1995年までに著しく増加した生き物は人間集団だと思えます。



上の図は、地球上にどんな生き物がどれほど生存するかを提案者がまとめたものです。食物連鎖の中で生産性の高い順に並べてあります。クジラもゾウも色々居るけれど、一番多い高等生物はヒトです。食物連鎖の一次生産者に微細藻などが在り、それを食べて高等生物が生きているわけですが、クジラやゾウがどんどん増えたという話はありません。ヒトのみが増えるということがすなわち、食物連鎖の危機だと思います。地球上で最大のヒト集団のみが爆発的に増加することは、他の生物にとっては絶滅を意味すると思います。生物の多様性を破壊した元凶は化学肥料で、別の表現をすればヒトであり、現在なお前にも増して強烈に増加しています。アジアからトラが消え、白クマが絶滅寸前、世界各地で大型の動物が消えつつあります。

上の図で、左上の緑色の丸は微細藻です。微細藻の賦存量は 20 万 Tg(2,000 億トン)、人間集団は 350Tg(3.5 億トン: 70×10^8 人 $\times 50 \times 10^{-3}$ トン/人)です。

微細藻類蓄存量は海洋大循環によってもたらされる N_R によって生産されるものです。地球上の海洋面積はおよそ 70% ですが、海洋の生産性は栄養状態などにより陸上よりは悪いものの、陸上の生産量と海面の生産量はほぼ同じとされています。従って物質と生命の循環において、食物連鎖の一次生産者である微細藻の役割は、陸上の一次生産者と相俟って循環の基盤をなすものですが、微細藻の場合、窒素循環との関連で懸念される事柄は、窒素の増加に伴って派生する微細藻種の変換だと考えています。

地球上の海水の量は $1.35 \times 10^{12} \text{Tg}$ です。地球への N_R の蓄積は 100Tg/年 程度ですが、地球の時間からすればまもなく海水が N_R で汚染され身動きできなくなるのではないのでしょうか。

地球への N_R の入力、陸上では、窒素固定バクテリア-リゾリウム (*Rhizorium*)、海洋ではシアノバクテリアです。シアノバクテリアは最初に地球上の現れた微細藻で窒素固定を行います。その後現れた緑藻は、窒素固定能力を持ちませんが、両方が現在も生息しています。

大気中の非反応性窒素 N_2 のバイオ N 固定はこの二つに限られます。



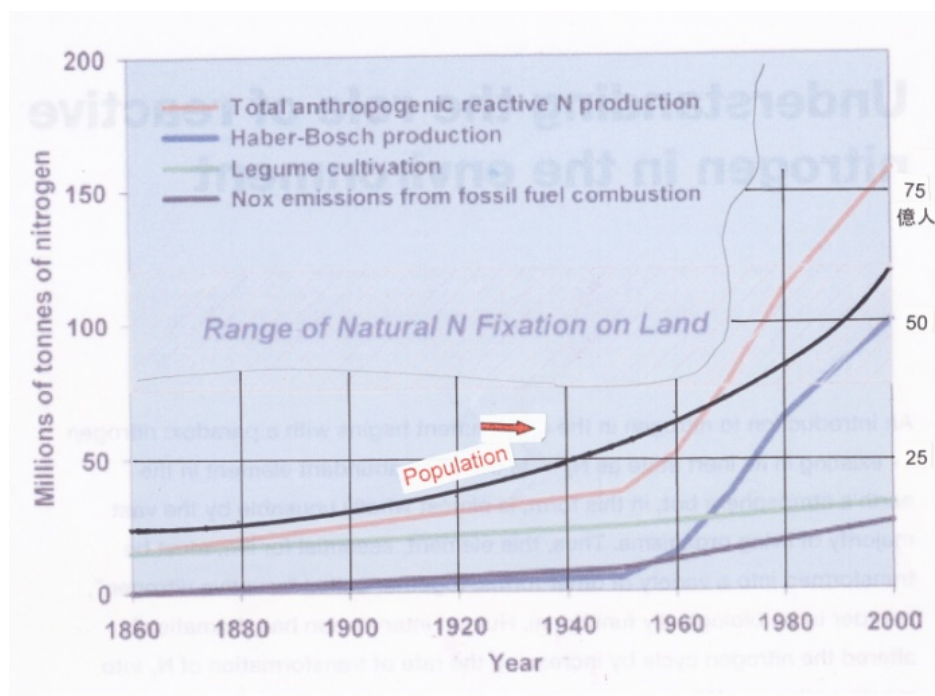
(環境省 HP より)

海洋へ流出した N_R は暖かい表層流とともに西に移動し、大西洋の北で海底に沈みます。その後南極まで南下し、東に流れその間マリンスノーとして沈降する有機物を飲み込み、ペルー沖で湧昇流として海水面に現れカタクチイワシとして再び地上に現れます。海洋大循環の N_R の増加は微細藻種の変換を意味します。今後どのように変化するかを推定するのは困難ですが、1860 年と現在とを比較すると、その回答が簡単に判ります。

湖での環境変化は海の環境変化の 10 倍になると聞きました。例えば宍道湖において、シジミの生産量は昭和初期の 1/10 に減少し、ハマグリが絶滅し、中海が赤潮の起きるヘドロの海になったことなどが今後海洋で起きると思われます。

次頁の図は、UNEP (United Nations Environment Programme), Reactive Nitrogen in the Environment 2007 の figure 1 に世界人口の推移を重ねたものです。 N_R が今後どうなるかを検討するために添付しました。この図からも化学肥料の増加と人口増加には深い関係があると読み取れます。1980 年から 2000 年の間に化学肥料は 1Tg/年 の勢いで増加しています。その計算で行くと、1995 年の化学肥料の数値 100Tg/年 はすでに 120Tg/年 近くになり、海洋は当時

より 2,000Tg もの N_R を受け入れた可能性があります。世界が赤潮の海になり、著しく魚介類の収穫が減少するのは明かです。海洋の窒素濃度の変遷を調べる必要があります。



参考文献

1. V. Smil, Global Population and the Nitrogen Cycle, Science American, 1997
2. A. Harrison, The Nitrogen Cycle of Microbes and Men, Visionlearning, 2003
3. S. Fields, Global Nitrogen: Cycling out of Control, CHP 2004
4. UNESCO-SCOPE, Policy Briefs, Human alteration of the nitrogen cycle, 2007
5. UNEP, Reactive Nitrogen on the Environment, 2007
6. Yoshi のブログ、巨大な人間集団、2012-5-7
7. Yoshi のブログ、海の話しをしよう、2011-12-28
8. Yoshi のブログ、自然の海で珪藻は、2011-11-14
9. Yoshi のブログ、宍道湖で何が起きたか、2011-11-23