

2012年12月9日

浄化槽フォーラムinみやぎ
仙台

地球規模の環境問題

須藤 隆一

東北大学大学院工学研究科客員教授

NPO 法人環境生態工学研究所理事長

1. ヒトは本当に賢いのか

ヒト (Homo sapiens) は自然との脅威との戦いのなかで科学技術を進歩させて、すでに70 億人に達し、家畜まで含めると全動物量の2 割を占めるに至り、環境容量ギリギリに達している。これは気候変動による異常気象、大洪水、干ばつ、極地の氷床の融解、オゾン層の破壊、生物多様性の劣化、病原性の微生物の猛威など枚挙にいとまがない。これらのすべてを科学技術で対応することは困難で、ヒトは地球生態系の一員として、環境に適応しながら生きるしかない。そのなかで最も脅威なのは、温室効果ガス (GHG) による気候変動とその影響であることは論を俟たない。1990 年の国連の地球リオサミットが開催され、それ以降GHGの軽減対策についての議論が続いている。2012 年6 月に180ヶ国参加のもとにリオデジャネイロにおいて地球サミットが開催されているが、途上国と先進国との基本的考え方の溝は埋まっていない。動物は自分の住み家を自ら破壊する種はいないし、ヒトは自らを動物の頭と位置づけているが、現状では自らの環境を破壊させている愚かものである。このままでは人類存亡の危機はそう遠くはない。

2. なぜ低炭素社会か

産業革命以前の二酸化炭素濃度 (CO₂ 濃度) は280ppm と安定していたが、現状では400ppm を超えており、毎年2ppm ずつ増加している。CO₂ はCH₄、N₂O、および各種のフロンガスとともに温室効果ガス (GHG) として知られ、表1に示したように温室効果は他のガスより低いが、排出量が圧倒的に多量であるので、温室効果の90%以上はCO₂ が占めている。したがってCO₂ は気候変動という人類最大の危機の原因物質になっている。

人類による大量生産、大量消費、大量廃棄型の社会活動によって資源浪費の危機を迎えている。さらに開発や乱獲などの人間活動によって生物多様性の大幅な喪失を引き起こし、生態系の危機を迎えている。

表1 温室効果ガスの種類とその温室効果係数

	地球温暖化係数	主な発生源
エネルギー起源CO ₂	1	燃料の燃焼により発生。灯油やガス等の直接消費はもとより、化石燃料により得られた電気等を含む場合には、それらの消費も間接的な排出につながる。
非エネルギー起源CO ₂	1	工業過程における石灰石の消費や、廃棄物の焼却処理等において発生。
メタン (CH ₄)	21	水田や廃棄物最終処分場における有機物の嫌気性発酵等において発生。
一酸化二窒素 (N ₂ O)	310	一部の化学製品原料製造の過程や家畜排せつ物の微生物による分解過程等において発生。
ハイドロフルオロカーボン類 (HFC)	1,300 (HFC-134a)	冷凍機器・空調機器の冷媒、断熱材等の発泡剤等に使用。
パーフルオロカーボン類 (PFC)	6,500 (PFC-14)	半導体の製造工程等において使用。
六ふっ化硫黄 (SF ₆)	23,900	マグネシウム溶解時におけるカバーガス、半導体等の製造工程や電気絶縁ガス等に使用。

地球温暖化を中心に地球環境の危機は間近に迫っている。この危機に正面から対峙し、その解決を図らない限り、人間社会の発展はあり得ない。そのためには健全で恵み豊かな環境が地球規模でも身近な地域でも保全され、それを通して世界の人々が幸せを実感できる生活を享受し、将来世代にも継承することができる持続可能な社会の実現が不可欠である。持続可能な社会のイメージを示したのが図1である。

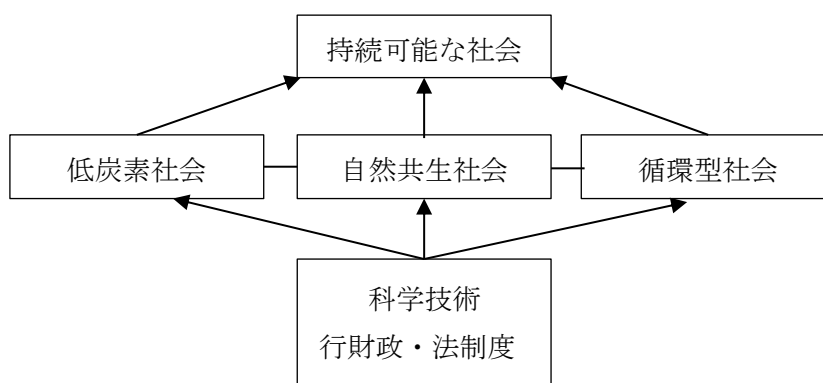


図1 持続可能な社会のイメージ

その際、科学的根拠が不確実とあって対策が延期することのないよう予防的取り組みが肝要である。持続可能な社会の原理に向けた基本的な取り組みは、次の3つである。

- ①環境が有している浄化容量（環境容量）以上に汚れ（環境負荷）を出さない
- ②新たに採取する天然資源を最小限にとどめ、資源の循環的利用を確保する
- ③健全な生態系が維持・回復され、自然と人との共生が保障される

これらの3つの基本的取り組みは、それぞれ低炭素社会、循環型社会、自然共生社会と呼ばれており、図1に示した持続可能な社会を構成する。

本講演で示す水環境保全も例外ではなく、持続可能な社会における水環境保全のあり方を示してみる。従来は水がきれいであればよい、水が便利に使えればよい、排水は早く流されればよい、安心して飲めるおいしい水をどこでも入手できればよい、など、持続可能な社会とは無縁に水だけを考えて施策が実施されてきた。もし100年前に持続可能な社会を考えて水システムを展開したならば、たぶん現状の上下水システムやかんがいシステムなどの水利用システムとは違ったものが出来上がったと考えられる。

世界中の人々がGHG 排出量がすべて平等であるとするならば、日本人は1990年に比較して80%程度削減しなければならず、現在からみれば、低炭素どころではない超低炭素である。この排出量は、昭和30年代前半のエネルギー消費量に相当すると思われる。

持続可能な社会の3つの構成要素は、低炭素社会、自然共生社会、循環型社会であるが、これを実現するには科学技術の発展と行財政制度および法制度整備が必要であることはいままでのない。低炭素化に向けての低炭素化の課題を例示すると次のとおりである。

- 1) 集落のコンパクトシティ化
- 2) 自然再生可能な地産地消のエネルギーの大幅な導入、小水力発電、木質バイオマス・ソフトバイオマスの活用、メタンガスの利用、太陽光発電・太陽熱発電、風力発電、地中熱の活用など
- 3) 電力分野において、スマートグリッド（次世代送電網）および固定価格買取制度の活用
- 4) 環境税の導入
- 5) 環境保全型農林水産業
- 6) 国内排出権取引制度の導入
- 7) 交通手段の省エネルギー化・低炭素化
- 8) 固形廃棄物からのリサイクル資材の大幅な活用
- 9) カーボンオフセット、エコポイント、カーボンフットプリント、ウォーターフットプリントなどの制度の導入
- 10) 炭素貯留やジオエンジニアリング技術の開発
- 11) 低炭素化を目指した人材の育成
- 12) 自然科学のみならず、人文社会科学をも導入した、新たな低炭素化に向けた仕組みの開発、法制度などの研究に取組み、特区制度を用いた実証

水資源は世界的に枯渇しているため、水資源の開発と併せて水のリサイクルが必要である。しかし水のリサイクルは通常CO₂の増加を招くことが多いので、その手法の選択は難しい。

水利用が増大する原因として、①人口増加が爆発的に起こり、20世紀に世界の人口は3倍に増えた。そして水の需要は6倍に膨らんだ。水資源の量が少なくなると、それに伴って、水の汚濁も進んだ。②生活水準の向上と工業化が今まで以上に進んだ③地球

環境の劣化（温暖化、砂漠化、森林減少など）が予想以上に進んだ④過度のかんがい取水が行われた、などである。また、水が偏在する原因として、①集中的・局部的取水が行われ、中国の黄河のように川の水が断流しているところもある②水の汚濁が進み、水資源の価値が実質的に低下している③降水量の時間的変動が大きくなり、安定取水のレベルが低下している。水の偏在をみると、乾燥地帯では、一層の乾燥が起こり、また降雨時期には豪雨や出水がしばしばみられる。わが国でも水の偏在性が目立っている。

さらに第3には生物多様性が適切に保たれ、自然の円滑な循環の中で、農業、林業、水産業を含む自然経済活動を自然に調和したものとし、また様々な自然とのふれあいの場や機会を確保することにより、自然の恵みを将来にわたって享受できる自然共生社会の構築が必要である。自然共生の知恵と発展による自然共生社会づくりを世界に提案するとともにわが国の生物多様性の総合評価を行い、将来像を国民に提示し、自然の恵み豊かな美しい国を将来世

代に引き継ぐことが大切である。里地、里山、および里海は、自然共生社会の典型的な例である。

2010年に名古屋で生物多様性条約締約国会議

(COP10)が開催されており、自然共生社会を推進するうえでのわが国の役割は大きい。

図2には、自然共生社会のイメージが示してある。わが国は古代から自然と共生して生活してきたが、近年急激な経済成長と共に、自然共生社会は破壊されつつある。これまで築きあげてきた自然共生の知恵を再度復活させて、特に身近な自然である里地、里山、里海（里湖）、里川等の保全・再生・創出を通して、生物多様性の維持向上と生物資源の持続的利用を図ることが重要である。

現実の社会をみると、持続可能な社会づくりは、決して容易ではないが、安全で恵み豊かな環境を将来世代へ引き渡すためには、国内外の幅広い関係者の参加と協同をふまえ、環境保全に気持ちを一つにして一人ひとりの取り組みの幅を広げ、力強く推進することが求められる。



図2 自然共生社会のイメージ

表2 地球温暖化の水環境への影響

1. 水温の上昇（冷水性生物への影響）
2. 植物プランクトンの増殖（赤潮，アオコ）
3. 底層 D0 の貧酸素化，無酸素化
4. 成層化の長期化（底質からの N, P 等の回帰）
5. 外来種の侵入
6. 水質の低下（透明度の低下，難分解性物質の蓄積等）
7. 海洋の酸性化
8. 洪水の増加
9. 濁水の増加
10. 水循環の不健全化

3. 水環境、水循環、生物多様性への影響

水環境への気候変動の影響は、陸上環境よりも大きく、また冬期に大きい。さらに極地に近いほど大きいと考えられる。また、わが国では東日本や北海道の方が大きい。水環境への地球温暖化の影響の一例を示したのが表2である。

洪水、渇水の繰り返しにより水循環の健全性は失われ、水不足や水害が日常的に起こるかもしれない。この2～3年の夏は猛暑日（35℃以上）が例年になく多く、もっとも暑い夏になっている。また暑いばかりでなく、各地に集中豪雨（局地豪雨）が発生し、洪水、強風、突風、落雷等を招いている。局地豪雨は、1時間あたり50～100mm あるいはそれ以上の強烈な雨もめずらしくなく、土石流を引き起こすこともある。雨が降らない地域や時期は全く降らず、干ばつや極端な乾燥が起こり、農作物の生育にも大きな被害をもたらしている。

一般的には水温が上昇すれば、水質は悪くなる。一方では微生物の活性が増大して自然浄化作用は強まる。BOD は水温が上昇すると、下流にいくに従って低下する度合いは高まる。しかし、湖沼や内湾の富栄養化は進行する。また植物プランクトンの構成種の変遷も起こり、湖沼ではシアノバクテリアにシフトする傾向にある。さらにシアノバクテリアでも種の遷移がみられる。霞ヶ浦では、ミクロキスティス (Mycrocystis) からアナベナ (Anabaena) やオシラトリア (Oscillatoria) などの糸状シアノバクテリアに移行しているが水温の上昇も一因とみられる。水温は水生生物の多様性に著しく影響し、0.1～0.2℃といったわずかな水温上昇でも水生生物の生育・生息に大きな影響を与える。特に冷水性生物への影響は大きく、冷水性生物は絶滅の危機に瀕する。

湖沼や内湾では底層の溶存酸素 (DO) は水温上昇のために循環が起こりにくくなり、無酸素あるいは貧酸素水塊が形成される。また、底質の泥化（ヘドロ化）も進行する。

鹿兒島にある池田湖（水深約200m）では、この数年100m以深では図3に示したように、20年ほど無酸素状態が続いている。底層が無酸素状態になると、底泥に含まれている窒素・リンが溶出し、水塊に回帰される。また琵琶湖で

も貧酸素水塊が広がっている。また近年調査研究が進んでいる有明海も貧酸素水塊がかなり広がっているが、その要因の一つに水温上昇がある。

また海洋の酸性化も懸念されている。酸性化が進むと温室効果ガスの吸収が低下し、さらに温暖化が進むと予測されている。表3には、海水に与える酸性化の影響が示されている。水温はフィールドで必ず測る項目であるにもかかわらず、経年的に上昇速度が整理されているデータは意外に少ない。

水源、浄水プロセス、水道水、地下水、下水等とも連続的に水温を測定し、温度変化の程度を長期にわたってモニタリングする必要がある。また、湖沼やダムが水源の場合、水温と併せてDOの垂直変化を測定することが求められる。

これまで給排水システムにおける温暖化対策は大きく取り上げられることは少なかった。節水は節電と同様に省エネルギー行動であり、電気と同じように水道に対しても節水を高める必要がある。これは浄化槽に対しても負荷削減になる。東北地方は污水处理施設が復旧・復興のなかで新たに設置されることになるが、可能な限り小規模分散、下水処理施設のダウンサイジングを計る必要がある。温暖化の進行によって食糧の供給

が危うくなる。コメの生産量は気温が1℃上昇すると約10%減少するといわれている。作付時期、品種改良、生産地拡大・北進等、全体として生産量を増大させる工夫が大切である。このような事はあらゆる農産物、養殖等のすべてにいえることで、温暖化に強い農産物、畜産、養殖に切り替える必要がある。現在毎日安く入手してい

図3 鉛直報告のDO経時変化

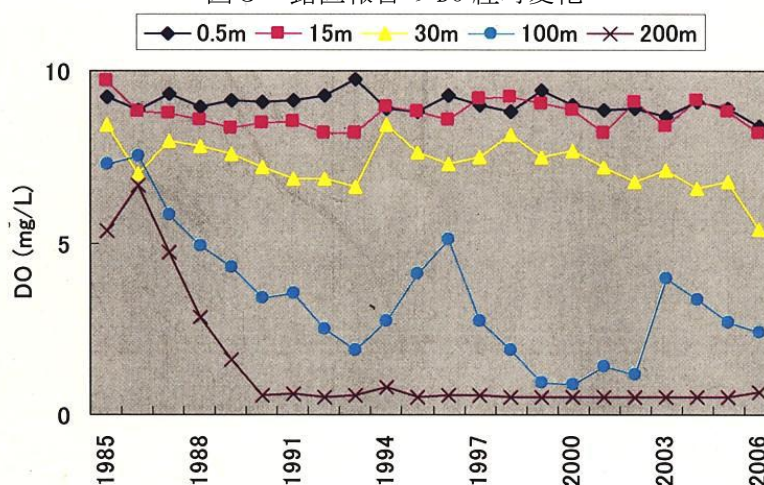


表3 海水の酸性化の影響 (pH8.2~8.3→7.7~7.8)

<ul style="list-style-type: none"> ・生態系への影響 1. サンゴの骨格形成への阻害 2. 巻貝の成長阻害 3. 甲殻類の成長阻害 4. ハプト藻の外殻(円石)の異常 ・炭素吸収量の減少(相乗的な温暖化の促進)
--

るありふれた食品が高級品になってしまうことがあり得る。サンマやイワシが高級魚になるかもしれない。

われわれはこれから食糧難に備えて庭先や小さな空き地、ベランダでも野菜ぐらいは自身で作れるようにしたいものである。また住宅への浸水を防ぐ工夫や雨水貯留・活用によって用水の確保に困らないようにすべきであろう。

これからの汚水処理対策は基本的には、①低エネルギー、省資源②低コスト③3Rの組み込み④自然との調和および生物多様性の維持向上などについてこれまで以上に配慮する必要がある。

演者は、排水対策の普及の理念として分散と多様の原則を掲げてきたが、これに加わるに、低炭素化、資源循環及び、生物多様性の維持を目標としたい。

上下水道の水システムを欧米型として導入したときは、持続可能性などほとんど考慮しなかったと考えられる。

これから上下水道事業を始めるとするならば、1つの流域の中で、取水と排水の位置を決め、取水した点の出来るだけ近くに排水を流し、河川の水質や流量を考慮した流域管理の中で実施されるべきである。東京や大阪のような大都市を除けば、遠くの河やダムから取水して、排水を河川の下流や海に流出させる現状のシステムは水循環の健全性から見ても妥当でない。本質的には小規模分散を原則とし、近くの水源からの取水と近くの水域への排水が望まれる。

生物多様性は、生態系、種、遺伝子の3つのレベルからなっている。遺伝子の多様性が種の成り立ちを支え、種の多様性が生態系の多様性を構成するうえでの基盤となっている。しかし最近、わが国の動物では約670種、植物では約2500種が絶滅の危機に瀕しているなど、3つのレベルの多様性が危機的な状況を迎えている。3つのレベルのうち、ひとつでも不十分だと生物多様性は保持されず、その保全は緊急に取り組むべき課題である。

わが国のどこにでもみられたメダカが少なくなり、絶滅危惧種として取り上げられている。メダカを守らなければならないとしても、ある特定の川のメダカと、また別の川のメダカのどちらかを、あるいは両方のメダカを守るべきなのかよく考えてみる必要がある。遺伝子レベルでの保全も重要であることはいままでもない。

4. 浄化槽は地球のマイクロコズム

浄化槽は、一つの微小生態系（メゾコズム）である。浄化槽には栄養（BOD、N、P）と酸素が送られ、反応槽は動的であるが安定した生態系である。このバランスが一定の範囲にあれば、良好な処理水がそれほど人手を要さずに得られる。しかし負荷変動が著しかったり、過負荷になったりすれば恒常性が崩れ、浄化機能は著しく低下してしまう。地球も同じで、人為的負荷を小さくし、GHGを軽減していけば住みよい地球になるはずである。これには低炭素化社会の構築しかない。

一つの浄化槽のなかには $10^4 \sim 10^5$ 種の微生物が $10^{14} \sim 10^{15}$ 存在しており、動的な生態系を構築している。浄化槽の放流水をみれば浄化槽生態系の様子が何となく理解できるはずである。浄化槽への優しさは、地球環境への思いやりにも通じるものと確信している。

5. まとめ

浄化槽は地球のマイクロズムであることを認識して、低炭素化社会構築のために普及を早めよう。ヒトは浄化槽の普及によって、やはり賢かったことを実証したいものである。