



環境儀

国立環境研究所の研究情報誌

バイオ・エコエンジニアリング

開発途上国の水環境改善をめざして

人口の増加と産業の発展が著しい開発途上国では、湖沼など閉鎖性水域での富栄養化の進行、有毒なアオコの異常増殖等により、飲み水そのものへの悪影響が都市部を中心に広がるなど大きな問題になっています。ヨハネスブルグで開催された環境開発サミットでは、排水などの衛生問題も含め、安全な水にアクセスできない人の割合を2015年までに半減する計画が了承されました。一方、開発途上国で具体的な対策を行うには低コストでエネルギー消費も少なく、維持管理も容易な資源循環型の排水処理技術・システムが必要とされています。これらの条件を満たすものとして、生物の機能を最大限に活用する「バイオ・エコエンジニアリング」システムが今、注目されています。

独立行政法人

国立環境研究所

<http://www.nies.go.jp/index-j.html>

生物が持つ浄化能力の活用は
開発途上国の水環境改善に
大きな役割を果たします。





開発途上国で安全な飲み水を確保するには、まず水環境の保全・修復が必要です。そのためには汚濁負荷の5~7割程度を占めている生活系排水の処理が重要です。しかし処理システムの維持管理体制やその資金確保等さまざまな問題点を抱えているこれらの国々では、先進国がこれまで行ってきた下水道のような一極集中型の処理システムを整備していくのは困難です。そこで求められてくるのが、排水を現場で処理し、浄化した水を還元する、分散型で低コストの、エネルギー効率や維持管理性にも優れた技術・システムです。

国立環境研究所ではこうした技術・システムの開発・普及に向けて、高度処理(窒素・リン除去型)浄化槽にも利用されるバイオエンジニアリングと水生生物や土壌を活用したエコエンジニアリングを融合したバイオ・エコエンジニアリングの研究に取り組んでいます。

本号では、バイオ・エコエンジニアリングを途上国に適用するための調査研究の成果について取り上げるとともに、その技術・システムの概要やねらい、これまでの研究成果、現在進めているプロジェクトなどを紹介します。

C O N T E N T S

バイオ・エコエンジニアリング

開発途上国の水環境改善をめざして

INTERVIEW

研究者に聞く P4-P9

SUMMARY

「自然利用強化型適正水質改善技術の共同開発に関する研究」の概要 ... P10-P11

バイオ・エコエンジニアリングの研究をめぐる P12-P13

「バイオ・エコエンジニアリング——開発途上国の水環境改善をめざして」研究のあゆみ P14

研究者に聞く

稲森 悠平 循環型社会形成推進・廃棄物研究センター
バイオ・エコエンジニアリング研究室室長

水落 元之 循環型社会形成推進・廃棄物研究センター
バイオ・エコエンジニアリング研究室主任研究員



バイオ・エコエンジニアリングを使った水質浄化システムの開発と、その開発途上国への適用について取り組んでいる稲森悠平さんと水落元之さんに研究のねらい、成果、エピソードなどをお聞きしました。お二人はこのほど新設された「バイオ・エコエンジニアリング研究施設」で、この分野の研究を精力的に進めています。

●日本の水環境と排水対策

—今回は生物、生態系を活用した水処理技術が中心で、研究は「自然利用強化型適正水質改善技術の共同開発に関する研究」として、タイでバイオ・エコエンジニアリングを使った水質浄化手法などについての調査ですね。その本題に入る前に頭の整理として、日本の水環境と排水対策の現状についてお話し下さい。

稲森 富栄養化の影響により湖沼や内海・内湾など閉鎖性水域の水質がなかなか改善していません。そのためアオコや赤潮が発生し、利水障害や生態系に変化が生じるなど問題が起きています。こうした問題を防ぐために、これまでさまざまな排水対策が行われてきましたが、汚濁負荷量の増加に努力が追いつかないのが実情です。

富栄養化対策では公共用水域の汚濁負荷の5～7割を占める生活排水の対策が重要で、なかでも富栄養化の原因となる窒素・リンを除去することがポイントです。日本ではこれまで、生活排水対策として下水道や浄化槽の整備が行われ、下水道の普及率は63.5%に達しています(2001年度末)。しかし窒素・リンを除去できる、いわゆる「高度処理システム」の普及率は8%とわずかです。浄化槽については、

窒素・リン除去どころか、し尿のみしか処理できない「単独処理浄化槽」が圧倒的に多く、生活排水は未処理のまま河川などに流れ込んでいます。最近普及が始まったし尿と生活排水の両方を処理する「合併処理浄化槽」でもBOD(有機物汚濁の指標)除去が対象となっていますので、窒素・リンの水域への負荷はきわめて大きいです。

こうした中、富栄養化対策を効率よく進めていくためには、高度処理型の下水道や合併処理浄化槽の整備に加え、私たちはバイオ・エコエンジニアリングを使った水質浄化システムの開発、普及がぜひとも必要と考えています。バイオ・エコエンジニアリングとは、生物学と一般にいわれているバイオエンジニアリングのうち、窒素・リン除去型の浄化槽に利用されている生物処理工学と、植物や土壌の持つ力を最大限に発揮させる浄化手法に利用される生態工学、いわゆるエコエンジニアリングの2つを組み合わせたものです。

●開発途上国の水環境問題

—今回の研究のきっかけとなった途上国の水環境問題についてお聞かせ下さい。

稲森 途上国の水問題は深刻です。排水処理どこ



ろか、安全で衛生的な水にアクセスできない人々が世界では十数億人もいます。2002年9月にヨハネスブルグで開催された環境開発サミットでも、この問題が論議されました。すでに「安全な水にアクセスできない人口を2015年までに半減させる」ことは同意が得られていましたが、このサミットでは、日本などが強く主張して、し尿や排水の処理も含めた衛生面でのより充実した対策を合わせて進めて行くことが決まりました。開発途上国の水環境修復対策は、このことからきわめて重要なことが理解できます。

開発途上国でも、日本と同じように生活排水が全汚濁負荷の大きな割合を占めています。タイやフィリピンなどでは、生活排水が未処理のまま川や運河にたれ流しになっていて、富栄養化は日本以上に深刻化し、また有毒なアオコの出現頻度も高まるなど、家畜や人の健康への影響も懸念されています。

● 開発途上国の排水処事情

—— 開発途上国では排水処理はまったく行われていないのですか。その事情についてさらにお聞かせ下さい。

稲森 私たちはタイ、フィリピン、インドネシア、マレーシアなどいくつかの途上国で調査を行ってききましたが、汚水処理システムの導入はきわめて少ないです。基本的な汚水処理計画すらないところが多く、途上国では計画づくりから携わり、それに沿った形で技術導入を考える必要があります。

とくに、途上国では電力事情が問題です。地方では電気が十分に普及していないところが多いです。そうした地域に日本で行っているような電力多消費型の下水道システムを導入しようとしても無理です。—— 人口が集中し、汚濁負荷も大きい大都市部ではどうですか。

稲森 まだほとんど整備されていませんが、バン

コラム 「富栄養化と有毒アオコ」

・ 富栄養化

窒素・リンなどの栄養塩類は湖沼や海域の生態系を構成する細菌や動植物にとって必須な元素です。しかし、公共用水域への汚濁負荷物質の流入が高まり、水中の窒素・リンが必要以上に増えると、それを栄養として利用する植物プランクトンが急速に増えてきます。このような状態を富栄養化といいます。富栄養化の影響でアオコなどが異常増殖すると、水中の溶存酸素が不足し、魚類や藻類が死滅して水環境が悪化してしまいます。さらに、水道水などとして利用している場合、浄化がたいへんなだけでなく、異臭味などの問題も起きてきます。



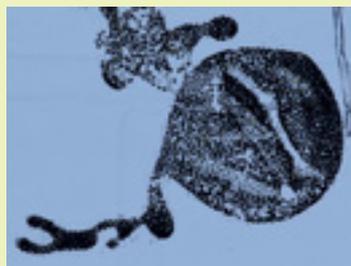
アオコが打ち寄せた湖岸

・ 有毒アオコ

富栄養化に伴い発生するアオコ(ミクロキスティス属やオシロトリア属等の単細胞あるいは糸状の藍藻類(シアノバクテリア)の仲間)は、異常増殖して湖沼等閉鎖性水域の生態系の破壊や有毒物質、カビ臭物質の産生による利水障害などを引き起こします。中には有毒物質を含有する種類も存在し、アオコが原因で家畜や人が死亡する事例も起き、牛、羊、馬などへの被害は開発途上国だけでなく米国やオーストラリア、フィンランドなど先進国からも報告されています。

この有毒物質はアオコの代謝産物で「ミクロキスチン」と呼ばれ、猛毒の青酸カリに比べ60倍も毒性が強いといわれています。アオコがどのようにして有毒物質を生産するようになるのかはまだ解明されていませんが、有毒アオコは世界中の富栄養化した湖沼から頻繁に検出されています。ブラジルのペルナンブッコ州カルアルー市の病院では、自家水道にミクロキスチンが混入し、50人以上が死亡するという悲惨な事故も発生しました。

なおWHO(世界保健機関)は、ミクロキスチンの飲料水質ガイドラインとして暫定基準を $1 \mu\text{g}/\text{l}$ と定めています。



アオコ顕微鏡写真(黒い粒1つが $4 \mu\text{m}$)

研究者に聞く

コクやマニラのような大都市では下水道が必要になるでしょう。実際にバンコクでは整備計画が動き出しています。ただ、バンコクでは現在、各家庭にし尿を嫌気条件で腐敗して分解するセプティックタンク(腐敗槽)と呼ばれる簡単なし尿処理システムがあり、そこで処理された水が水域に流れています。ですから下水道を整備する場合には、こうした従来からある排水処理システムなども考慮する必要があります。

——しっかりした排水処理システムが必要なことはよくわかります。でも開発途上国では下水道など大規模なシステムの導入は資金的にも厳しそうですね。

稲森 開発途上国では低コストでかつ省エネルギー、省メンテナンスな技術が求められています。下水道のような大規模集約型の施設よりも浄化槽のような小規模分散型の施設の方が適していると思います。そこで、バイオ・エコエンジニアリングの活躍の場が出てくるのです(図1参照)。

●バイオエンジニアリングとは

——先ほどバイオ・エコエンジニアリングは、バイオエンジニアリングとエコエンジニアリングを融合した技術だとお聞きしました。そこで、まずバイオエンジニアリングについて説明して下さい。

稲森 ここでいうバイオエンジニアリングを利用したシステムとしては、微生物の働きを利用して窒素・リンが除去できる「高度処理浄化槽」がありま

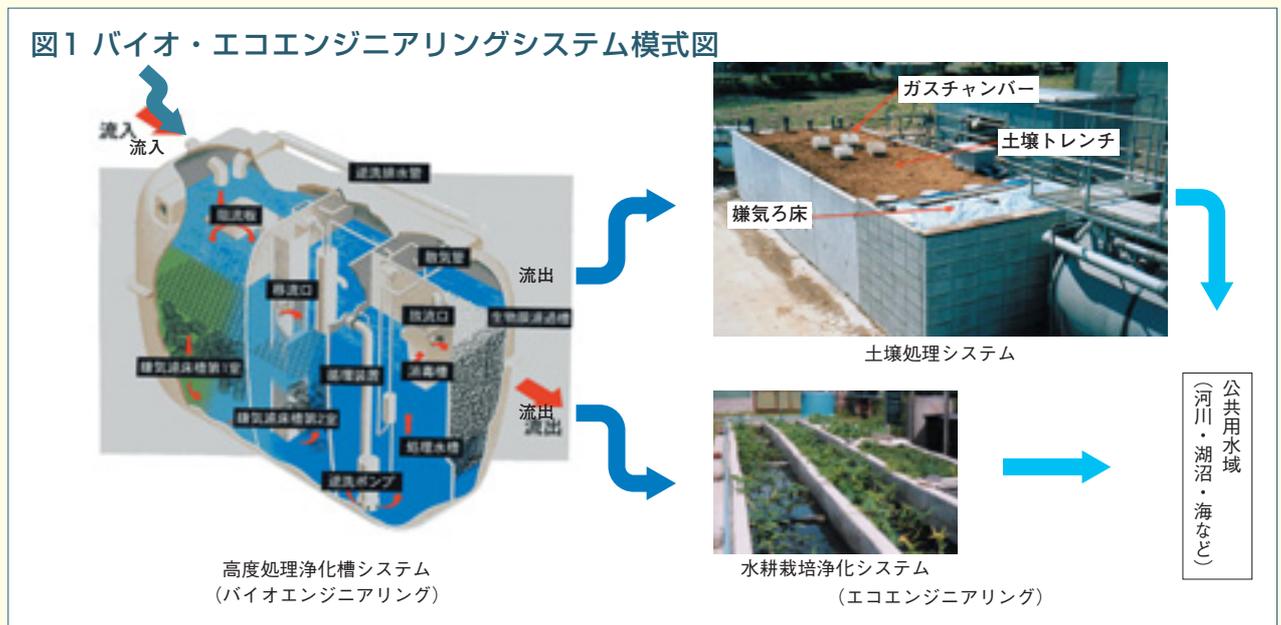
す。すなわち、酸素がないと生きられない「好気性微生物」と酸素がなくても生きられる「嫌気性微生物」を活用するのです。これらの微生物がうまく働く場所をタンク内で組み合わせて、汚水を浄化するのが高度処理浄化槽です。具体的にいえば、まず嫌気性微生物はアミノ酸、たんぱく質のような有機性窒素が入ってくると、それをアンモニアに変えます。アンモニアは好気性微生物によって硝酸に変化します。それを嫌気性のタンクに戻すと、嫌気性微生物の脱窒細菌が亜硝酸(NO_2)、硝酸(NO_3)中の酸素を呼吸に使い、残った窒素はガスとして大気中に排出されます。

一方リンは、微生物体の重要な構成物質ですから、微生物の増殖に伴い汚水中から除去されます。さらに、嫌気と好気の状態をうまく組み合わせると、リンを蓄積する微生物が増殖し、リンが効率的に除去されるようになります。これがバイオエンジニアリングを利用した「高度処理浄化槽」の一連の流れです。

●エコエンジニアリングとは

——好気性微生物を使う活性汚泥法は下水処理でもよく使われていますから分かりますが、嫌気性微生物をうまく組み合わせることで高度化を可能にするんですね。次にエコエンジニアリングについてもお話し下さい。

稲森 自然生態系の中には土があり植物がありま





す。この土や植物の働きに工学的な技術を組み合わせることで機能アップを図ろうというのが、ここでいうエコエンジニアリングの具体的な利用法です。

ただ植物を使った浄化の場合は、浄化に使った植物の処理処分が問題になります。そのまま放置しておくと、窒素やリンを吸収した植物は枯れて沈殿してしまい、水域の負荷を削減できませんから、植物を取り出さなければなりませんし、その後の処理がけっこうやっかいです。私たちはその方法として、取り出したものをコンポスト化の助剤として使う方法などを提案しています。もちろん食用になる植物を浄化に使う方法もあります。これらはいずれも資源循環も考えたもので、この視点は開発途上国では今後ますます重要になってきます。

●研究の成果

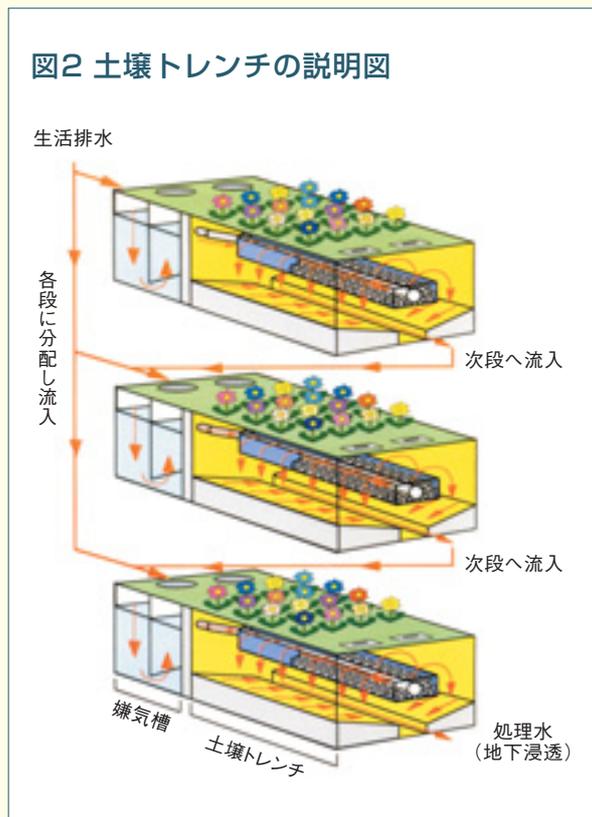
——少し具体的な研究の成果についてお話をいただけますか。

稲森 国立環境研究所で以前いっしょに研究していた上海交通大学の孔海南先生といっしょに、エコエンジニアリングの革新的な技術を開発しました。北京・中南海の污水处理システムとして導入されているこの技術は、動力とエネルギーをまったく必要としないのが特徴です。純粋なエコエンジニアリングというよりもバイオエンジニアリングとミックスした技術（つまりバイオ・エコエンジニアリング）といってもよいのですが、前段に嫌気性微生物が棲み着くタンクを組み込み、その後段に土の中に箱型のみすを入れ、そこに砂利を敷いて配管を通した、いわゆる土壤トレンチ(図2参照)を組み込みます。これが1セットの装置です。

このセットを1段、2段、3段と組み合わせることで汚水はさらに浄化されていきます。実験では、流入口でBOD 200 mg/l、窒素50 mg/l、リン5mg/lの排水が、出口ではBOD 5mg/l、窒素5mg/l、リン0.1mg/l以下にまで下がっています。ちなみに、富栄養化対策としては、下水道や合併処理浄化槽で窒素10mg/l以下、リン1.0mg/l以下にするのが目標とされています。

このシステムは自然の勾配を利用して汚水を流すのでエネルギーを使いませんし、目標とする水質によって段数を増やしていけばよいわけですから、開発途上国向けの省エネ、省コストの技術といえます。

図2 土壤トレンチの説明図



●他の処理法との比較

——どのくらい省エネ、省コストですか。

水落 コストについていえば、建設から維持管理まで含めて通常の污水处理に用いられる活性汚泥処理法に比べて1/2以下です。また電力は、土壤浄化や植生浄化では流入部でポンプを使う程度です。活性汚泥処理法では、ばっ気などで電力を使いますから、比較すると1/10以下になると思います。

しかし土地はかなり必要です。たとえば広さは電気の使用量とバーターともいえます。水処理には酸素が必要です。その供給を自然の力で行うのか、それともポンプを使うのかという違いです。土壤処理の場合は、活性汚泥処理法と比べておよそ10倍ぐらいの面積が必要になるといわれています。植生浄化の場合は、浄化のスピードがもっと遅くなるのでさらに面積が必要になります。そこをどう考えるかということですが、基本的に自然の能力に頼っている以上、面積を抑えるのは非常に難しいですね。面積を抑えると処理が非効率になってしまいます。面積の便益をどう考えていくか。まさしく、ここが今後の検討課題です。

——途上国でも汚濁がひどいのは都市部です。そうし

研究者に聞く

た場所で、活性汚泥処理法に必要な面積の10倍の広さを使って自然浄化を行うことができるのでしょうか。

水落 中国の例でいいますと、排水を池に滞留させて浄化するラグーン浄化、いわゆる酸化池法が天津で実際に使われています。20万～30万人規模の排水を処理しています。他には、青島近郊の10万人規模の町で、干拓事業の一環として塩分除去を目的に人工湿地を使って汚水を浄化をしています。この場所はやがては農地として使うようです。やはり本法は都市部の近郊および郊外に適した処理法といえます。

——土壤浄化と植生浄化では、水質浄化能力に差があるのでしょうか。

稲森 汚濁負荷量など流す汚水の条件によって差が出てきます。土壤トレンチの場合、汚水を流し過ぎると目詰まり現象が起きます。これは、汚水の中に有機物が多いとカビやバクテリアが増え、それによって土の中が微生物だらけになりパンクしてしまう現象です。そこにシマミミズなどの小動物を棲まわせると目詰まりは改善できますが、負荷が多過ぎるとその効果も消えてしまいます。

しかし適正な負荷条件で比較すると、もっとも性能のよいのは土を使った浄化です。土による水ろ過の効果もあり、非常にきれいになります。また植生

浄化でも、クレソンやクウシンサイなどを使った水耕栽培浄化ではアシに比べて10倍以上の効果を得た場合もあります。

——クレソンやクウシンサイというと農産物ですね。水質浄化だけでは都市部に広い土地を確保するのは難しいですが、浄化とともに農産物生産事業を結びつけると新しい可能性も出てきそうですが、いかがですか。

稲森 われわれは水耕栽培を利用した「水耕生物ろ過システム浄化法」をタイや中国で実験しました。その際には、水耕栽培した植物の市場での価格や生産するための敷地面積、さらには従業員の賃金なども考慮に入れシミュレーションしました。その結果、



クウシンサイ

コラム「水耕生物ろ過システム」

水耕生物ろ過システムは、浅く水が流れる水路に植物を根が張るように植え、その根のまわりに水生ミミズや巻き貝、魚などが棲む環境を整え、それら植物と小動物で構成される生態系の働きを利用して水質を浄化するシステムです。浄化のしくみについてみると、まず植物の根や茎の表面に細菌類、ツリガネムシ類、ワムシ類のような微生物が膜をつくり、汚水中の分散した細菌類を食べることから始まります。その働きにより栄養塩を取り込んだ微生物膜を巻き貝が食べ、その巻き貝をヒルが、ヒルをザリガニや魚が食べるという食物連鎖の中で栄養塩の濃縮が行われていきます。

また微生物や小動物のふんや死骸が汚泥となり、この汚泥を水生ミミズなどが食べることによって生物濃縮が進みます。植物は汚泥から栄養塩を吸収し成長します。水耕生物ろ過システムは、これら成長した植物と泥、魚などをその水域から取り出すことによって栄養塩や濁りを除去するだけでなく、植物を堆肥化したり販売することで資源の有効利用にもつながります。

水質浄化能力もあり食用にもできるクレソンやクウシンサイを利用することで売却益も期待でき、水浄化費用の一部の回収、浄化コストの引き下げも可能になります。



茨城県霞ヶ浦の「土浦バイオパーク」



面積が100m²の浄化システムを作ることで、投入する資金を1年間で回収し利益も出るという試算が出ました。途上国では単なる汚水浄化システムではなかなか実現が難しいので、産業としての付加価値も加えた方がよいと考えています。

●NPOとのつながり

——琵琶湖、霞ヶ浦など、日本にもたくさんの閉鎖性の湖沼があり、下水道や合併処理浄化槽は普及しつつあるものの湖沼の浄化はなかなか進まないですね。日本の場合は生活排水の問題も大きいですが、湖沼内にこれまで蓄積した栄養塩が問題になっていると聞いています。湖沼の浄化というと、エコエンジニアリングを利用したシステムは効果がありそうですが、最近では周辺住民などで作るNPOの活躍が聞かれます。エコエンジニアリングシステムを通してNPOとのつながりもあるのではないですか。

稲森 印旛沼で活動されているNPOの方がわたしのところに相談にきました。「食用になる植物をカゴに入れて湖に浮かべると、1mぐらいの根が付き、非常によく繁殖します。これは見方を変えれば窒素・リンを食用植物が吸収する水質浄化といえるのではないのでしょうか」というものでした。

NPOの方々は、この浄化法について県に説明に行ったものの疑問を持たれたそうで、「この浄化手法はおかしいのですか？」と聞かれました。

「根が湖の底に定着し底泥から生える植物がたくさん増えると、動物プランクトンが周りに生息してアオコなどを食べますからりっぱな浄化です。こうした原理はもっともですよ」と説明すると、

「初めて論理的な説明をお聞きできました。自分たちがやっていることは間違っていないことがよく理解できました」

と喜んでくれました。このNPOはいま、イカダを用いた浄化に取り組んでいます。食用の植物の苗を格子の付いた細長いイカダに密植させ、そのまま印旛沼のほとりに浮かべ、浄化を行うとともに収穫して市場にも出荷しようというものです。こうした取り組みにも今後技術面からの協力関係が成り立つでしょう。

——目に見えるところで浄化が進んでいくことが重要ですね。家庭から出る生活排水が浄化されていく過程を見ることができれば、そのたいへんさを認識するとともに汚さないことへの心がけが進むと思

います。いかがですか。

稲森 自分の出した汚濁物がどうなっていくかということに関心を持つことは非常に大切です。下水道でも浄化槽でもマンホールだけでは利用者も理解できません。都会ではなかなか難しいでしょうが、公園や池などで、まず食用の水耕植栽を地元の人たちといっしょに行うなど、エコエンジニアリングシステムを活用して水辺を身近に感じることから始めるといいのではないかと思います。

●印象に残ったこと

——さて、話は戻ります。これまで長い間開発途上国の方々といっしょに研究されてきて、印象に残ったことや苦労したことなどあると思います。ぜひお聞かせ下さい。

稲森 開発途上国の研究者たちは環境技術を学ぶことに非常に熱心ですね。それは途上国の水質汚濁が深刻ということもあるんですが、日本の若い研究者と比べるとやる気が違うと感じます。こうした人たちがいれば、開発途上国の水環境改善も方向性として明るいな、という印象を持ちました。

また、どんな仕事でもそうだと思いますが、人脈づくりが非常に大切です。たとえば先に述べた孔海南先生は、中国の環境大臣など政府の要人と独自のネットワークを持っています。このネットワークはわれわれのプロジェクトにも役立っています。こうした力のあるカウンターパートナーがいないと、とくに開発途上国相手の水質改善プロジェクトは難しいと思います。

——人脈づくりがキーワードですが、この点で苦労した点がありますか。

稲森 たとえば、孔海南先生とのつきあいは、今から15年前ぐらいに遡りますが、当時先生は国費留学生として国立環境研究所に来ました。しかし、そのうち国からの援助が切れてしまったので、私が生活の面倒を見ながら、いっしょに研究を続けたのです。こうした苦労の中での助け合いによって、今日の関係があるわけです。

——途上国の水質改善には、伝統的な方法の改良と組合せ、産み出した新しい技術の応用と導入手法の検討までも含めた全体的なデザインが必要なんですね。具体的な利用をめざした研究の必要性を痛感しました。ありがとうございました。

「自然利用強化型適正水質改善技術の共同開発に関する研究」の概要

自然を活用した水質浄化を効果的に行うには、その国や地域の自然条件などを考慮し、実際にそこに生息する植物や動物の中から最適なものを選んで技術やシステムを構築することが重要になります。

1. 生態工学プロセス技術を活用した水質浄化

水質浄化に適したアシのような抽水植物の中でも、浄化能力は植物の種類によってさまざまです。そこで、タイに生息する代表的な抽水植物を選び、富栄養化の原因となっている窒素・リンなどの浄化能力について調査しました。また食用植物を使って同様の検討を行いました。

(1) 抽水植物を活用した水質浄化

調査の対象に選んだ抽水植物は、アシ、ヒメガマ、フトイの3種類です。長さ10m、幅1mのコンクリート製水路を4本用意し、そのうち1本は対照用で、残りの3本にこれらの植物をそれぞれ植栽し、生活雑排水をポンプで流入させました。

流入水と水路を通過した処理水について、通水開始後6カ月経過した水質を分析しました。

このうち窒素とリンについてみると、植栽をしていない水路と比較すると、いずれも流入水に比べ処理水の濃度が大きく下がっており、これらの抽水植物に高い浄化能力があることを示しています(図3)。図4は抽水植物を活用した窒素・リン・BODの浄化機構を模式化したものです。

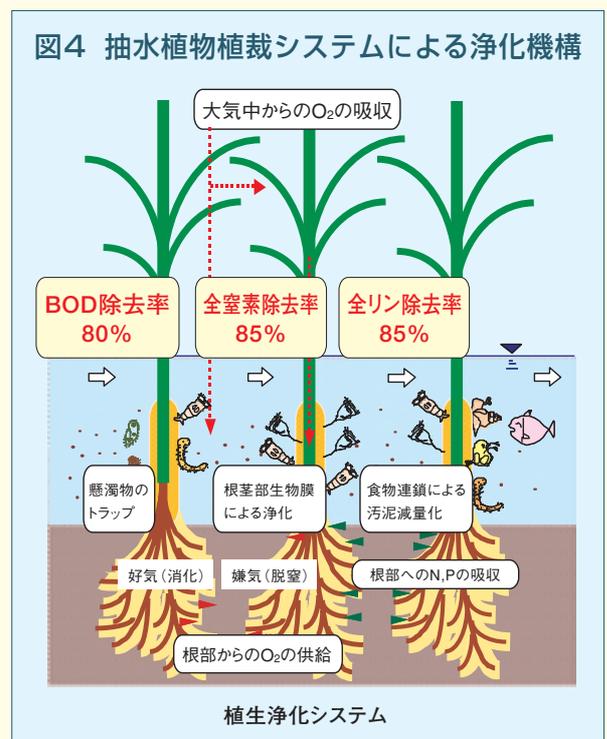
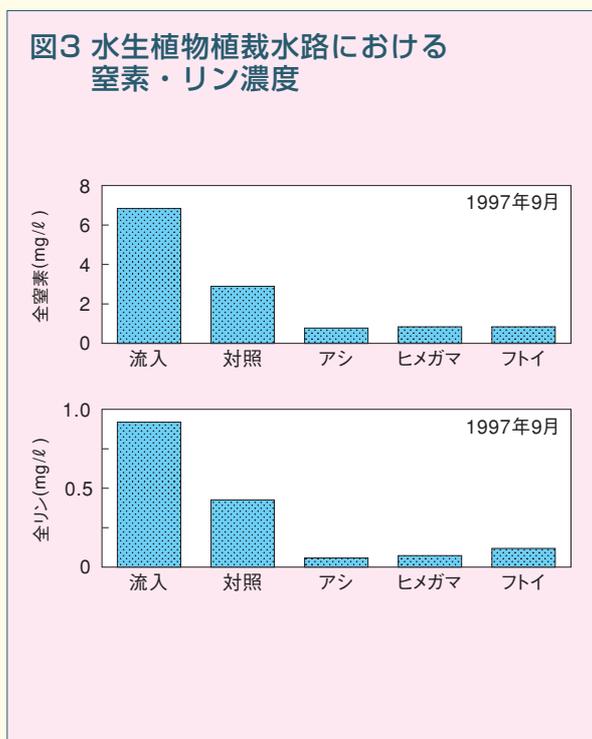
(2) 食用植物を活用した水質浄化

日本で食用植物や花きを栽培し、水質浄化と窒素・リンのリサイクルに成功した水耕生物ろ過法をタイで実践するため、水質浄化に優れかつ食用などに活用できる水生植物を探すとともに、その水質浄化能力などについて調査しました。

3本の水路にクウシンサイ、ミズオジギソウ、クレソンなどを植栽し、3~4カ月ごとに設定条件を変更して栽培しました。各水路の原水と処理水、収穫した植物や最後に残った泥について窒素・リンの含有率などを分析しました。

まず、植物の生育状況についてみると、クウシンサイを除き実験に用いた植物のほとんどがいったん成長したあと腐敗しました。クウシンサイは窒素・リンを除去するとともに水中に酸素を供給し、BODを低下させることが明らかになりました。

またクウシンサイは、東南アジアから中国にかけて食用として大量に消費されている植物であることから、水質浄化だけでなく窒素・リンなど栄養塩のリサイクルにも有効に活用できると考えられます。





2. 食物連鎖を活用した生物処理における汚泥減量化

生物処理の過程で、排水中の溶存性有機物は主に細菌類によって摂取・代謝され固形物に変換されます。その後、細菌は原生動物や袋形動物、環形動物などの食物連鎖を経て処理されます。このような生物処理では、各生物が摂食した食物源は、生物体に取り込まれ生物の成長に使われるほか、一部は呼吸エネルギーとして消費され、残りは排せつされます。

生物処理では、発生する余剰汚泥の処理・処分の負担を軽減するために、汚泥の発生量をできる限り少なくするプロセスの確立が求められています。呼吸エネルギーとして消費される割合を高め、生物の成長に用いられる割合を低くすること、いい換えれば浄化に参与している生物処理反応槽内の生態系全体としての栄養効率(変換収率=バイオマス転換分÷摂取基質分)を低く抑えることが重要となります。そこで、排水処理施設の最終沈殿池に汚泥を捕食するグッピーとそれを捕食するナマズなどの肉食魚を生態させ、生物処理全体としての食物連鎖を長く設定し、どのくらい汚泥を減量化できるか調査しました。

(1) グッピーの栄養効率

実験水槽に活性汚泥を食物源としてグッピーを飼育し、捕食量と体重増加量からグッピーの栄養効率

を算定しました。その結果、活性汚泥を食物源とした場合のグッピーの栄養効率は0.08でした。

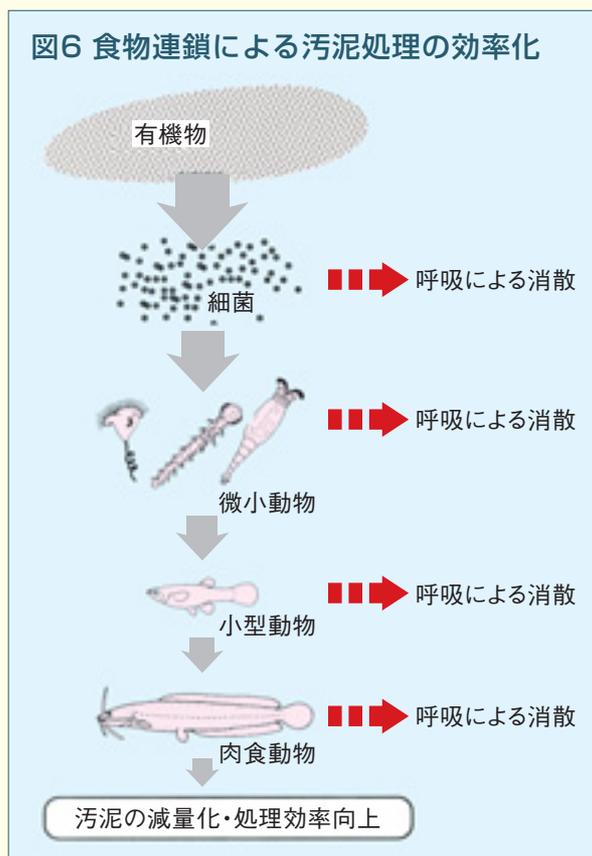
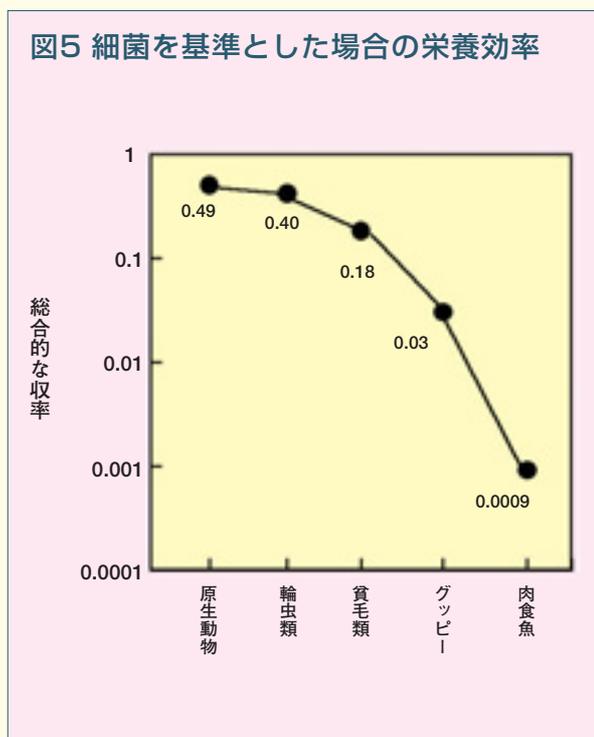
(2) 肉食魚(ナマズ)の栄養効率

小型魚類を食物源とする肉食魚としてナマズに着目し、グッピーと同様に栄養効率を調べる実験を行いました。その結果、小型魚類モツゴを食物源とした場合のナマズの栄養効率は、0.03でした。

(3) 汚泥減量化の総合評価

細菌を基点とした総合的な栄養効率は、細菌-原生動物の単純系では0.49ですが、袋形動物輪虫類の関与で0.40、環形動物貧毛類の関与で0.18と効率が低下し、さらにグッピーを組み込むことで0.03、肉食魚類を組み込むと0.0009と累進的に総合的な栄養効率が低下し、汚泥の減量化に大きく貢献することが明らかとなりました(図5)。

この結果、細菌・菌類・微小動物などが中心の生物学的処理に、小型魚類、肉食魚類、鳥類など、生態系でより上位を占める生物群を加え、食物網を複雑にして安定した食物連鎖を形成させることが生態工学の応用として重要な視点となることがわかりました(図6)。



バイオ・エコエンジニアリングの研究をめぐって

バイオエンジニアリングとエコエンジニアリングは、それぞれ「高度処理浄化槽」や「水耕栽培による水質浄化」といったかたちで、これまで日本で技術開発やその適用・普及が進められてきました。そして、現在世界各国への展開の道筋がつかれつつあります。これらの技術は単独でも水質浄化に効果を発揮してきましたが、環境への負荷が小さくかつ資源循環型で、さらに低コスト、低維持管理の技術・システムが求められるなか、両者の優れた面を融合化した国立環境研究所発のバイオ・エコエンジニアリングが注目を集めています。



霞ヶ浦に隣接された国立環境研究所の「バイオ・エコエンジニアリング」研究施設

日本では

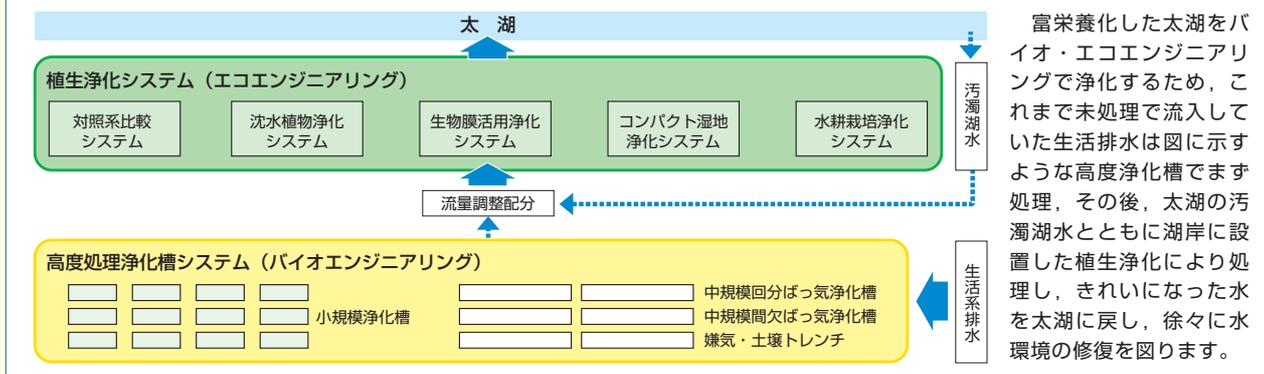
東京湾、伊勢湾、瀬戸内海を対象に窒素・リン除去の規制強化を打ち出した第5次水質総量規制でも、バイオエンジニアリングとしての高度合併処理浄化槽、下水処理の高度化、エコエンジニアリングを利用した人工干潟の構築、水生植物等の機能強化技術が対策のメニューとしてあげられました。今後は、これらを融合した技術の開発が期待されています。こうした中、農林水産省は生態工学を活用した環境修復技術として、農村地域の住宅からの生活排水を農業集落排水処理施設で処理した後、その放流水をさらに浄化するため植栽・土壌浄化、酸化池等と組み合わせたバイオ・エコエンジニアリングの融合化技術の開発に取り組んでいます。この事業は、「生態系活用型処理施設」と位置づけられ、平成12年度から高知県土佐町、同野市町、岐阜県加子母村など全国19のモデル実証試験地区で取り組みが始まっています(図7)。この事例はバイオ・エコエンジニアリングの実用化に取り組んだ日本で初めてのケースです(これには国立環境研究所が全面的に協力しています)。

図7 日本国内19のモデル地区





図8 中国太湖プロジェクト



国立環境研究所では

国立環境研究所では、バイオ・エコエンジニアリングの技術開発と適用に向けて、いくつかの国際プロジェクトを進めています。主なものとしては、JICAのプロジェクト技術協力としての「太湖水環境修復モデルプロジェクト」、環境省の国産技術移転プロジェクトとしての「紅楓湖・百花湖水環境修復モデルプロジェクト」があります。

このうち太湖水環境修復モデルプロジェクトは2001年度から5年間の計画で実施されているもので、富栄養化が著しく進行している中国・太湖の水環境を修復することをめざし、バイオ・エコエンジニアリングによる生活排水対策としての窒素・リン除去技術の開発と、開発した技術の普及に必要な構造、維持管理、性能等の基準づくりなどを行うのが目的です。

太湖の北岸にある無錫市に図8のようなバイオ・エコエンジニアリング施設を設置しました。バイオエンジニアリングを利用した高度処理浄化槽、エコエンジニアリングを利用した水耕栽培植物による浄化、土壌を活用した浄化、微生物からなる生物膜を活用したコンパクト湿地浄化などのシステムが組み込まれています。また、これらのシステムを活用した技術開発を行うことにより中国の国情に適したバイオ・エコエンジニアリングシステムを構築することが可能となります。中国の富栄養化の進行の著しい太湖はもちろんのこと、他の湖沼の水環境修復に大きく貢献するものと期待されています。

この他には、文部科学省科学技術振興調整費による「有毒アオコの発生防止国際ネットワーク創り」

プロジェクトも進めています。有毒アオコの顕在化が懸念されている中国や韓国、オーストラリア、フィリピン、インド、インドネシア、ベトナムなどアジア・太平洋地域の国を主な対象に、以下のようなバイオ・エコエンジニアリングの国情に適したシステム技術開発とネットワークづくりを実施しています。①汚濁負荷発生源の質・量の調査解析、②有毒アオコの分解に役立つ微生物の特性解析、③有毒藻類の毒素生産特性の分子生物学的解析、④ばっ気拡散・循環法を併用した溶藻性細菌による藻類異常増殖抑制技術開発、⑤再資源化可能な水耕栽培植物の最適組み合わせによる高度浄化エコエンジニアリングシステムの開発、⑥高度簡易分散型の生活系排水・污泥処理バイオ・エコシステムの技術開発。

さらに、国立環境研究所では、研究の中核施設として霞ヶ浦湖畔に「バイオ・エコエンジニアリング研究施設」の整備を進め、2002年9月にオープンしました。ここでは、以下に挙げるプロジェクトを推進していきます。

- (1) 液状廃棄物の環境低負荷・資源循環型環境改善技術システムの開発に関する研究
- (2) 生活排水処理システム浄化槽の窒素除去の律速因子となる硝化細菌の迅速測定・高度処理・維持管理技術の開発
- (3) 新世紀枯渇化リン資源回収型の総量規制対応システムの技術開発

なお2000年に開かれた日中韓3カ国環境大臣会合では「淡水(湖沼)汚染防止プロジェクト」が合意され、それと同時にこのプロジェクト技術開発の中核機関としてバイオ・エコエンジニアリング研究施設が位置づけられました。

「バイオ・エコエンジニアリング—— 開発途上国の水環境改善をめざして」研究のあゆみ

本研究は以下の2課題に沿って平成6年度から実施されました。

課題1

自然利用強化型適正水質改善技術の 共同開発に関する研究（平成6～10年度）

タイでは生活排水などによる水環境の悪化が著しく進行しており、近年では有毒物質を含有するアオコの異常増殖の顕在化も懸念されています。そこで河川や湖沼などの水質と有毒アオコの実態について調査しました。また水環境を改善するための手法として、生物や自然の浄化機能を利用した技術を適用するため、現地でそこに生息する動植物を使って浄化能力などを調査しました。

- タイにおける水域の実態調査
- 水処理プロセスを活用した水質浄化
- 生態工学プロセス技術を活用した水質浄化
- 熱帯地域における生物活性と処理の高度化

課題2

環境低負荷型・資源循環型の 水環境改善システムに関する調査研究（平成12～13年度）

循環型社会における水環境改善システムを確立するため、代表的な富栄養化湖沼である霞ヶ浦をモデル流域に、その流域および湖沼環境に関するデータベースを構築し、それに基づく水循環、物質循環モデルにより有害化学物質の環境挙動モデルや資源循環化について検討しました。またこれらを基に環境低負荷型・資源循環型の水環境政策の導入シナリオを分析し、費用対効果の評価および資源循環化による環境改善効果の評価と予測を行いました。

- 環境低負荷型・資源循環型の水環境改善システムに関する調査研究の論点
- 霞ヶ浦流域の水循環、物質循環モデル
- 有害化学物質の流出モデルの検討
- 流域物質循環特性と資源循環化の検討
- 霞ヶ浦流域の物質循環施策効果の予測評価
- 流域資源循環効果

この研究は以下の組織・スタッフにより実施されてきました。

<研究担当者>

●課題1

地域環境研究グループ

森田 昌敏, 稲森 悠平, 高木 博夫, 水落 元之

地球環境研究センター

中島 興基

水圏環境部

西村 修

●課題2

地域環境研究グループ（平成12年度）

森田 昌敏, 稲森 悠平, 水落 元之

循環型社会形成推進・廃棄物研究センター（平成13年度）

酒井 伸一, 稲森 悠平, 水落 元之, 岩見 徳雄, 板山 朋聡

客員研究員

林 紀男（千葉県立中央博物館）、須藤 隆一（東北大学）、
孔 海南（上海交通大学）、藤本 尚志（東京農業大学）、
松村 正利（筑波大学）、平田 彰（早稲田大学）、
戎野 棟一（東邦大学）、杉浦 則夫（筑波大学）、
東 照雄（筑波大学）、田中 修三（明星大学）、
西村 修（東北大学）

環境儀既刊の紹介

- NO.1 環境中の「ホルモン様化学物質」の生殖・発生影響に関する研究
(2001年7月)
- NO.2 地球温暖化の影響と対策—AIM：アジア太平洋地域における温暖化対策統合評価モデル
(2001年10月)
- NO.3 干潟・浅海域—生物による水質浄化に関する研究
(2002年1月)
- NO.4 熱帯林—持続可能な森林管理をめざして
(2002年4月)
- NO.5 VOC—揮発性有機化合物による都市大気汚染
(2002年7月)
- NO.6 海の呼吸—北太平洋海洋表層のCO₂吸収に関する研究
(2002年10月)

『環境儀』

地球儀が地球上の自分の位置を知るための道具であるように『環境儀』という命名には、われわれを取り巻く多様な環境問題の中で、われわれは今どこに位置するのか、どこに向かおうとしているのか、それを明確に指し示すしるべとしたいという意図が込められています。『環境儀』に正確な地図・航路を書き込んでいくことが、環境研究に携わるものの任務であると考えています。

2001年7月

理事長 合志 陽一

(環境儀第1号「発刊に当たって」より抜粋)

環境儀 No.7

— 国立環境研究所の研究情報誌 —

2003年1月31日 発行

編 集 国立環境研究所編集委員会

(担当WG：横内 陽子，稲森 悠平，水落 元之，青木 陽二，清水 英幸，滝村 朗)

発 行 独立行政法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2

問合せ先 (出版物の入手) 国立環境研究所 研究情報室 029(850)2343

(出版物の内容) // 企画・広報室 029(850)2310

環境儀は国立環境研究所のホームページでもご覧になれます。

編集協力 (社)国際環境研究協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-1-13



このロゴマークは国立環境研究所の英語文字N.I.E.Sで構成されています。N=波(大気と水)、I=木(生命)、E・Sで構成される○で地球(世界)を表現しています。ロゴマーク全体が風を切つて左側に進むような動きは、研究所の躍動性・進歩・向上・発展を表現しています。



本誌は再生紙を使用しております