

第1章 緒論

1-1 水環境修復の必要性

水環境の汚濁の進行は累進的に加速し、その対策は緊急の課題とされている。特に、生活系排水は、河川、湖沼、内海、内湾等の公共用水域の汚濁負荷の70%近くを占めている。生活排水の処理としては、一般的には下水道による集積処理であり、その汚水の処理方法は生物反応、すなわち、活性汚泥法を基本としている。下水道に対応する汚水処理の重要な要として浄化槽があげられるが、反応槽内に有用な微生物を定着させることをはじめとする高度化技術の開発は、公共用水域の有機汚濁や富栄養化を防止していく上で必要不可欠の課題とされている。何故ならば、排出される汚水の総量や水質が水域の自浄能力をはるかに上回るようになったからに他ならない。我々を取り巻く自然環境は自浄能力を超えない汚濁負荷であれば、元の環境に回復する能力を持っている。これは主に生物の働きによるもので、なかでも土壌や水域に生息している土着の微生物の寄与が大きい。しかし、産業の発展と共に経済活動が活性化し、人間の生活の利便性は向上したものの、代償として環境汚染という問題を生じさせた。その結果として、自然環境の自己回復能力の許容の限界に達したことは周知の事実である。このような背景のもと、我が国では昭和42年に公害対策基本法が制定され、さらに地球環境時代に対応した環境政策を総合的に展開するため、平成5年11月には環境基本法が制定された。この中では大気汚染、水質汚濁、土壌汚染、騒音については、適切な環境を保全するための環境基準が位置づけられている。特に、水質にかかる基準値を達成していくためには微生物のもつ浄化作用を人為的に強化し活用していくことが有効である。

水は生命の維持活動にとって欠くことのできない重要な存在であり、生命の発生から現在まで地球上に多様な生物が生息し続けてこれたのも、生物の生存にとって適正な水環境が保たれていたことに由来する。しかし、水環境の汚濁、富栄養化は累進的に加速しているのも事実であり、将来にわたり水環境の改善および保全に努めることは必要不可欠である。ここで、地球の各メディアにおける水の存在量をFig.1-1に示す。まず、地

Total amount of water on the earth 1,380,000

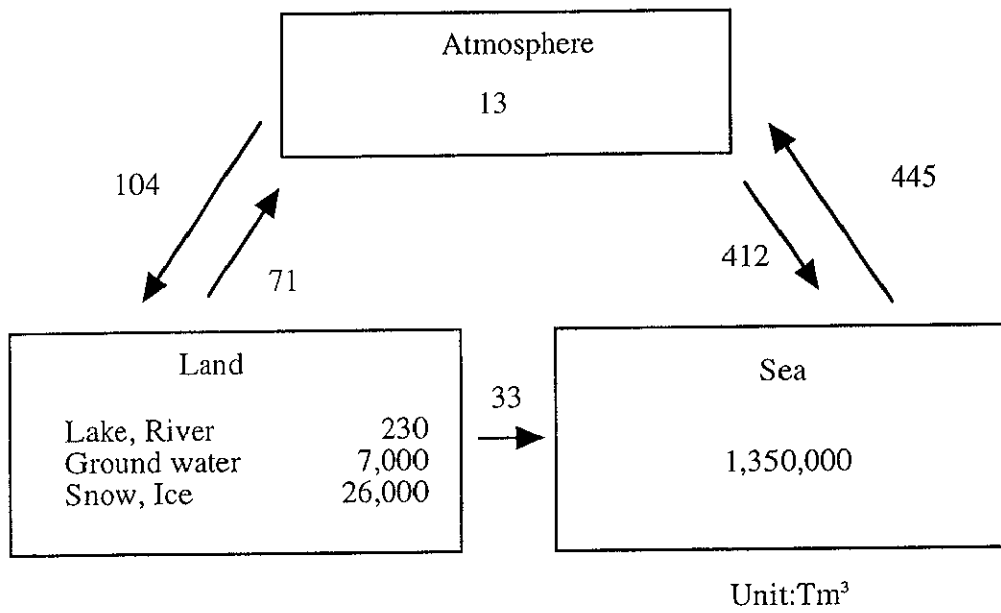


Fig.1-1. Retention of water on the earth.

球全体での総水量は $1,380,000 \times 10^{12} \text{m}^3$ と推定され、その内訳は海水が98%、淡水が約2%である。また、淡水量のうち、78%は南極等の氷であり、地下水は約20%、河川水となると水の総量のわずか0.7%にすぎず、さらに人類が生活を維持するために実際に利用できる淡水量は、さらに少なく全淡水量の約0.04%である²⁾ことがわかる。また、我が国の淡水の年間使用総量は約 $910 \times 10^8 \text{m}^3$ であり、その内訳は河川、湖沼、ダム等の表流水が85%、地下水が約15%を占めている。このうち、水の用途別使用に関しては河川法で水利権が定められており、農業用水は約60%、生活用水は約17%、工業用水では約16%となっている。近年、経済成長に伴い一般家庭で使用される生活用水量は年々増加しているにもかかわらず、農業用水の水利権の割合が高いため、生活用水として使用できる水量の大幅な増量は見込めない。それ故、上流域で使用された都市排水を含む表流水を下流の都市用水として繰り返し利用せざるを得ない状況となってきた。また、河川の下流域、湖沼、ダム湖といった河川の上流域よりも滞留時間の長い閉鎖性水域では、長期にわたり水域に流入する生活排水由来の有機物や栄養塩類が蓄積する。そのために、これらの物質が原因となって藍藻類の異常増殖が引き起こされ、とくに藍藻類のバイオマスが多い閉鎖性水域を取水源とする水道事業場では、浄水施設において、砂ろ過槽の閉塞ならびに凝集阻害による固液分離能の低下³⁾、水道水へのカビ臭物質の混入³⁾、さらには、塩素殺菌槽において発ガンの原因物質とされるトリハロメタンの生成⁸⁾¹¹⁾や有毒藍藻類に由来する毒性物質ミクロキスチンの混入¹²⁾¹⁴⁾といった複数の問題をかかえることとなり、水利用の安全性が一層深刻化し、大きな社会問題にまで発展してきている。このように我々の生活にとって、良好な水質および水量を確保することが困難となっている水資源の現状に鑑みると、水資源の再循環を配慮し、節水かつ汚水の高度処理を必須としたライフスタイルへと変換していかなければならない。また、それと同時に、水域への汚濁負荷削減対策、すなわち、有機汚濁源の70%以上を占める生活排水の個別処理施設、下水道、浄化槽などの整備とそれらの浄化機能の強化による外部負荷の削減が必須といえる。また、河川や湖沼の底質からの窒素、リンの溶出削減、すなわち、内部負荷対策としての底泥の浚渫等も必要であるが、これらは、水域特性を十分に

考慮して実行することが重要である¹⁵⁾。我が国の下水道普及率は、平成9年度末全国平均で56%であり、その内訳をみると、人口50万人以上の都市は92%でほぼ整備が最終段階に至っているのに対し、総人口の約40%を占めている人口10万人未満の都市では、そのうちの約38%が下水道事業未着手であるため、下水道普及率は28%と低い¹⁶⁾。こうした背景には、大都市と小都市を比較した場合、建設費や維持費は同じと見積もっても、人口密度の低い小都市は整備効率が低くなるために費用効果が得られず割高になることがあげられる。とくに、農村部などの人口密度の極めて低い地域では下水道の整備は不可能に近い。このような地域では、個人下水道ともいえる浄化槽がその役割を担っている¹⁶⁾。浄化槽は前述のように、下水道と対応する生活排水対策において、重要な位置づけにあるが、閉鎖性水域の汚濁防止、富栄養化防止、水資源の再循環を考えると、現状の浄化槽のさらなる高度効率化が重要な技術課題となる。

1-2 有用微生物の活用の汚水処理原理に基づいた意義

下水道や浄化槽における汚水処理の基本原理は、微生物生態系による自浄作用を利用するという点で共通している。現在、幅広く普及している生物処理は、この自浄作用を槽内で人工的に能率良く進行させるように施したプロセスであるといえる。処理方式としては、微生物を浮遊させた状態で利用する活性汚泥法、また、それとは逆に、微生物を付着あるいは固定化させた状態で利用する生物膜法があるが、いずれの微生物もその系に自然に発生したものであるために、浄化に寄与する微生物は、細菌から微小後生動物までの多種多様な微生物生態系を構成している。現在、活用されている汚水処理プロセスは、幾種もの方式に細かく分けられるが、一般の下水処理場では活性汚泥法、浄化槽では生物膜法が主流となっている。それぞれのプロセスにおける食物環は多少異なるが、その違いについてはFig.1-2に示したような須藤¹⁷⁾の報告がある。このように、活性汚泥法、生物膜法のいずれも、生物反応槽へ流入した汚水中の有機物は、まず、細菌類、菌類等が利用し、それによって増殖した細菌類、菌類等は、つぎに、原生動物や後生動物などに捕食される、という点では食物環はほぼ同様といえる。しかし、生物膜法

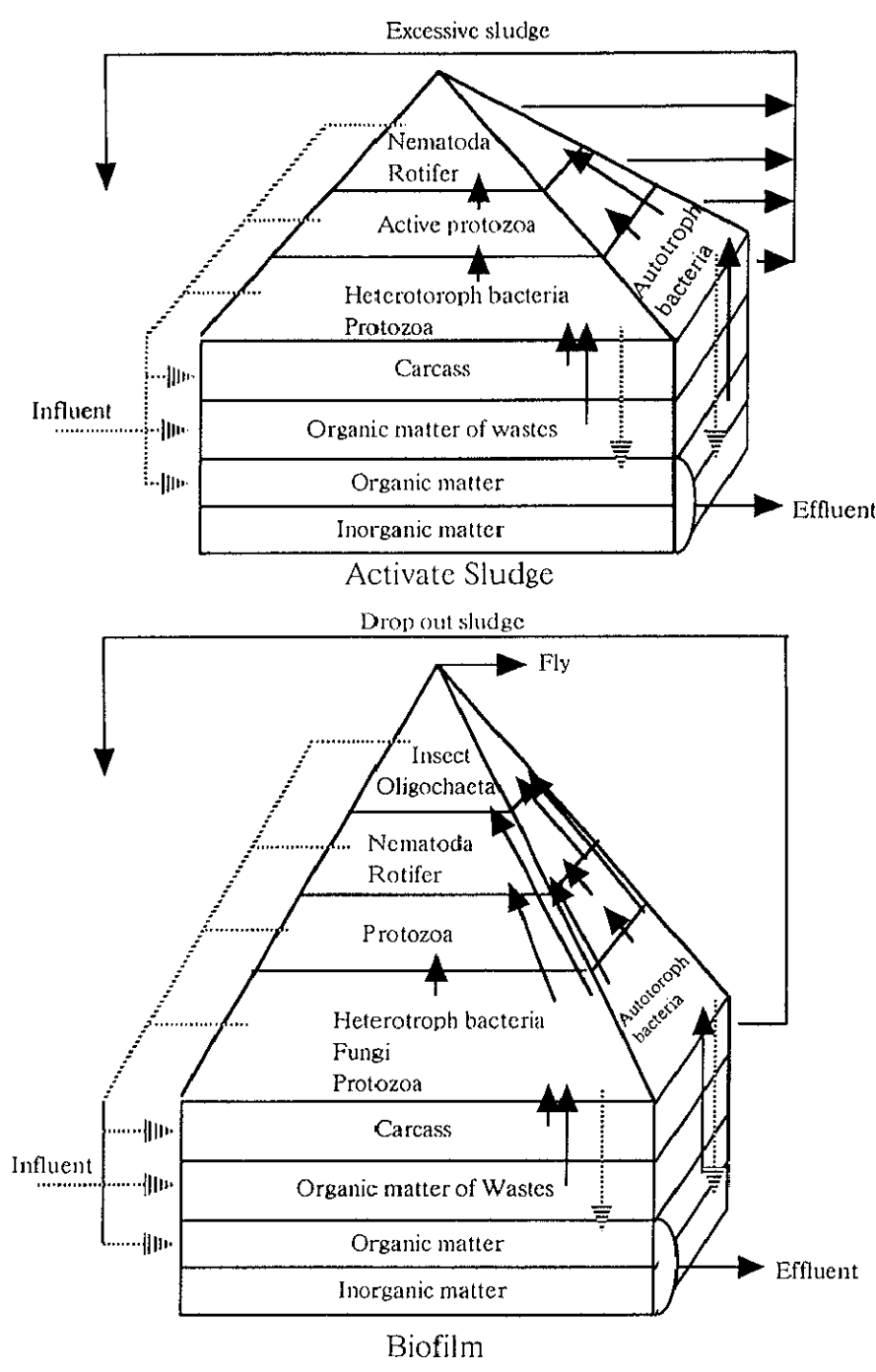


Fig.1-2. Food chain in wastewater treatment system. (Sudo,1995)

は、活性汚泥法に比べ高次捕食者のバイオマス量の多いことが特徴である。この高次捕食者である原生動物や輪虫類、貧毛類等の後生動物の汚水処理における役割については、Calaway¹⁸⁾、Curds¹⁹⁾、須藤²⁰⁾らの研究により、以下の知見が得られている。すなわち、(1)細菌類の凝集を促進し、細菌類の沈殿効率を高める、(2)細菌類と比較し、細胞が著しく大きいので速やかに沈降し、その沈降過程で細菌類を巻き込むか、分泌物に細菌類を付着させることによって、細菌類の除去効率を高める、(3)原生動物、微小後生動物が細菌類を捕食するために分散している細菌はほとんど除去される、(4)細菌類捕食作用による間引き効果によって、細菌類が活性化されて細菌の溶存性有機物の摂取能力が増大する、(5)原生動物や微小後生動物自身が溶存性の有機物を取り込む、(6)二種類以上の原生動物や後生動物を共存させた場合にはさらに凝集能が高まり、固液分離能が増す、(7)細菌類から原生動物への転換収率は約0.5、輪虫類等微小後生動物への転換収率は約0.3であり、捕食効果による発生汚泥の減量化が図れる、などである。

以上の基礎的知見を実際の汚水処理プロセスに応用し、捕食者のバイオマスを高めることができれば、処理水の透明化および汚泥の減量化の機能が向上するものと期待できる。とくに、これらの機能を向上させる上で、ろ過摂食者の輪虫類の作用が重要であることが主張されている。

1-3 特定微生物の優占化の重要性

汚水処理を効率的に行なうためには特定の有用な機能を持つ微生物を処理槽内に優占化させることが重要であるといわれている。生物処理の目標は、透明な処理水を得ること、汚泥発生量を減らすこと、および窒素・リンを効果的に除去できることなどがあげられる。特に、圧密性の高い汚泥が形成され、固液分離性の高い透明な処理水を得ることは必要不可欠な条件とされている。この処理水の固液分離能を高めるためには、原生動物、微小後生動物の働きが必須であるが、特に大きな効果を発揮するのが輪虫類であることが明らかとなっている²¹⁾。須藤²²⁾は、生物膜法としての回転円板法を用いて細菌

のみの系と細菌+輪虫類の系の比較解析により輪虫類の多量な定着により、処理水のSS (Suspended Solid) は細菌系の $35\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ に対し、輪虫類の存在系では $9\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ となり、著しく透明性の高まることを明らかにしている。また、Calaway¹⁹⁾も排水処理における輪虫類の役割について解析し、(1)懸濁細菌やSSを捕食して処理水を透明にする、(2)粘性物質と共に排出された未消化物質の糞がフロック形成を促進する、(3)フロックを破壊させ、あたらしいフロック形成のための核を作る、(4)細菌やSSを摂食して汚泥量を減少させる、(5)汚泥中での運動によってフロックや生物膜内部への酸素や栄養の供給を促進する、などをあげている。これらのことから、輪虫類を処理槽内に大量に定着させることによって、固液分離能が飛躍的に高まることが期待される。とくに、実際の汚水処理プロセスにおいて、有用な輪虫類の定着促進が必要とされるケースは、(1)処理障害となる物質の流入により生物処理反応槽内の微生物が影響を受けて浄化機能、固液分離機能が低下し、その後、速やかに各機能を回復させなければならないケース、(2)生物処理プロセスのスタートアップ時から短期間で目標性能を達成させなければならないケース、などが挙げられる。このような背景のもと、特定の微生物をあらかじめ培養・濃縮し、粉末化しておき、必要なときに処理槽内へ接種し、スタートアップや処理機能障害時の機能回復の迅速化・効率化、あるいは大量定着化のための基盤を構築しておくことは極めて重要である。本研究では上記の点を鑑み、特に微小後生動物輪虫類*Philodina erythrophthalma*に着目し、既存の処理施設の水質性能低下時、または処理施設のスタートアップ時の性能達成の迅速化、生物処理反応槽内の汚泥の減量化を目的として、輪虫類*P. erythrophthalma*の大量培養、製剤化、処理槽内への定着化について解析・評価検討を行なった。

1-4 論文の構成

本論文は第1章から第6章より構成されている。以下に各章の概要を述べる。

第1章では、本研究の背景および目的として水環境修復の必要性の位置づけ、有用微生物を活用する意義、輪虫類に着目した理由および本論文の概要についてまとめた。

第2章では、輪虫類の生態と特徴、および輪虫類の製剤化のために行なうべき課題・問題点を既往の研究をもとに挙げた。

第3章では、大型培養槽による輪虫類の大量培養法を目的とし、まず安価に入手の容易な培地の選定をフラスコスケールの実験で検討を行ない、次いでそれらの知見より最も培養効率の高かった米糠について10Lのミニスケールおよび500Lのパイロットスケールで高密度培養を行ない、スケールアップによる輪虫類の増殖速度および最大個体数密度に及ぼす影響について解析・評価を行なった。

第4章では、微生物製剤として輪虫類を長期間保存するための技術として、輪虫類の乾燥法および凍結法について、前者では乾燥のための保持担体として、米糠、小麦のふすま、米のもみ殻を用い、それぞれの担体の効果について、後者では保護物質であるグリセロール、DMSOの2種を用い種類、濃度が及ぼす効果について、それぞれ生存率を高めるための適正条件の解析・評価を行なった。

第5章では、細菌-輪虫類による二者培養系において小型担体流動型リアクターを用い、孔径、材質の異なる付着担体を用い運転を行ない、輪虫類添加前後における水質の変化および輪虫類の付着担体への定着性、輪虫類が定着するための担体の条件について解析・評価を行なった。

第6章では、本研究で得られた成果について総括し、また、今後の課題・展望について述べた。