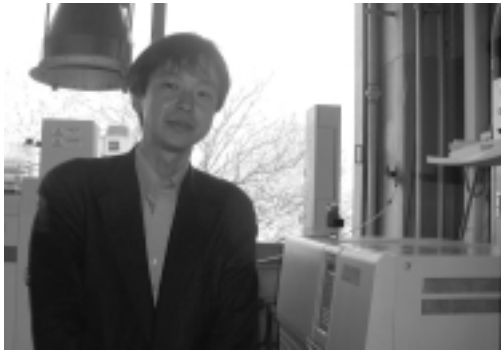




環境中の微量物質を探る

浦瀬 太郎 研究室～土木工学専攻



浦瀬 太郎 准教授

人間は、より安全で快適な生活を求めて橋・堤防・道路・ダムといった構造物から、日々の生活に使用する身のまわり品に至るまで多くのものを生み出してきた。しかし、それらを製造したり使用したりすることに伴う様々な環境問題を通して、環境への負荷を可能な限り低く抑える配慮の大切さを認識させられることとなった。地球の環境を守ることが私達にとって重要な課題であることは、もはや疑いないだろう。上下水道や廃棄物処分場など土木の分野から環境を考える浦瀬先生の話をお伺った。



環境中に排出される医薬品

水は私達人間が生きていくために欠かせない。では、私達は一日にどれくらいの水を使用しているのかご存知だろうか。風呂やトイレも含めると、一人が使用したり摂取したりする水はおおよそ200～300リットル/日にもなると言われている。つまり、私達は毎日それと同じだけの下水を出しているということになる。この水を土木の分野から支えているのが浦瀬先生の研究する環境衛生工学だ。私達の家庭に安全な水を供給するのはもちろん、使い終わった後の下水を適切に処理することも重要な課題のひとつである。これは浦瀬研究室で現在力を入れている研究課題でもあり、具体的には下水処理場で医薬品などの微量物質がどの程度除去されているかを調べている。

ヨーロッパでは以前から日焼け止めや香水がよく使われてきたが、これらは洗い流されると下水へと流れ込み、水質を汚染する。また、ヨーロッパでは化学物質に対して厳しい気質があり、1990年代から下水中や環境中の微量物質についての関心が高まって、研究も行われていた。日焼け止めや香水が水質を汚染するならば、分子構造の似ている医薬品も汚染の可能性があると考えられる。

しかし、日本では、それに関する研究はほとんどなされていなかった。そこで、先生は下水などから環境中へ排出される医薬品の挙動を調査することにしたのだ。

まず日本での医薬品の流れを見てみよう(図1)。薬は服用される場合と廃棄される場合の大きくふたつのルートに分けられる。服用される薬だけでなく廃棄される薬も無視できないのだ。不燃ごみ

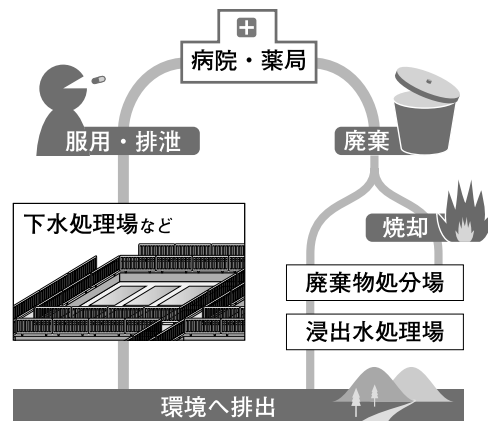


図1 医薬品の流れ

として廃棄された医薬品は、そのまま廃棄物処分場に埋め立てられ、浸出水として成分の一部が海など環境中に流れ出し、環境に負荷を与えてしまう。先生の行った浸出水の調査によれば、イブプロフェン（IBP）のように薬局で買える医薬品では、わが国の消費量の少なくとも一割が不燃ごみとして廃棄されているはずだという。

一方、人間が服用した医薬品の一部は分解・吸収されずに下水へと排泄され、下水処理場で処理されて河川などへと流される。つまり下水処理場で医薬品が分解されずに環境中に排出されると、

環境に悪影響を及ぼす可能性が出てくるのだ。例えば、人尿に含まれる17β-エストラジオール（E2）は、河川水の女性ホルモン活性の主要因となっている。E2以外の物質に関しては、現在環境への影響は明らかではないが、人間には分からない場所で環境に影響を及ぼしている可能性もある。環境への悪影響が分かっているかどうかに関わらず、人間の排出した物質の下水処理場での挙動を知ることや、それを除去する技術を開発することは重要である。このような考えのもと、先生は今の研究を続けている。

下水処理場で微量物質は除去できるか

現在の下水処理場の多くでは活性汚泥法という処理法が利用されている。活性汚泥とは好気呼吸をする微生物の塊のことで、下水に入れて空気を吹き込むと下水に含まれる有機物が分解される。つまり、微生物が汚濁物質である有機物を二酸化炭素や水に変えて排出してくれるため、水が浄化されるという仕組みだ。しかし、この処理法だけではプランクトンなどの異常発生を引き起こす原因となる窒素やリンが十分に除去できない。

そこで、一部の下水処理場では硝化運転と脱窒運転という方法を用いて栄養塩を除去している。硝化運転とは窒素をアンモニアから硝酸の形にな

るまで処理する事であり、その硝酸は無酸素槽で脱窒細菌の呼吸によって窒素ガスとして大気中に放出される（脱窒運転）。また、リンは嫌気と好気を繰り返すことによって微生物体内に蓄積されて沈殿汚泥と共に取り除かれるのだ。

硝化運転はアンモニアを硝酸に変換する微生物により行われるが、その微生物は自然の川の中に存在する。そのため下水処理場でも施設に十分な容量があり滞留時間が十分に取れる場合は、微生物が育っていく。そこで、先生は硝化運転によって医薬品も除去されるのではないかと考え、下水処理場を模擬した調査実験を開始した。

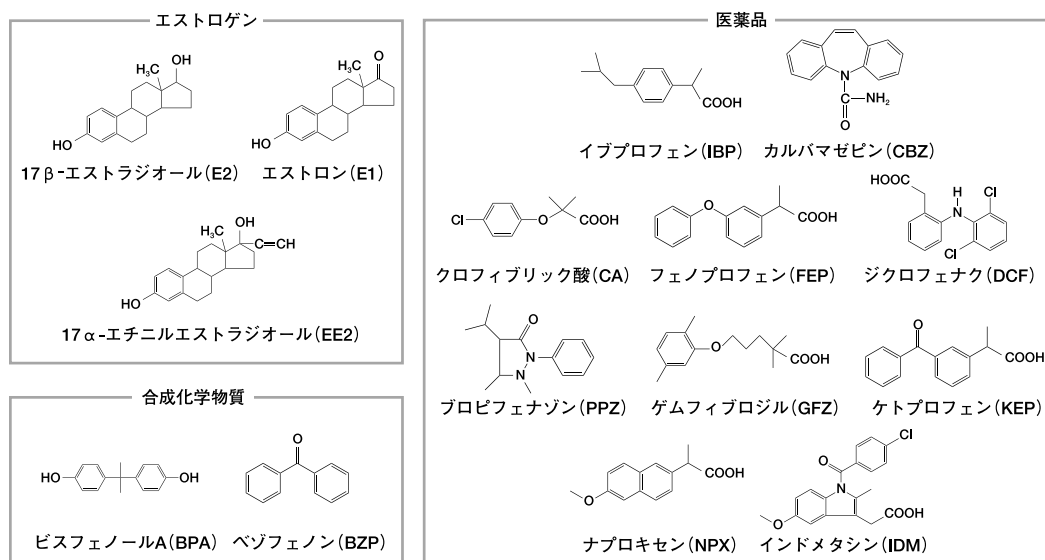


図2 実験対象物とその構造式

実験では図2に示すような十数種類の物質の除去率を調査した。日本で需要が高い医薬品の主成分であるIBPを初め、海外で硝化運転による除去が報告されている17 α -エチニルエストラジオール (EE2経口避妊薬)、女性ホルモン活性の強いE2などが含まれている。実験装置は図3のように実際の下水処理場で使われている活性汚泥を採取して用い、酸素を供給しながら硝化運転を行っている。また、精密ろ過膜で人工的に水を引き抜いてサンプリングするので、沈でん池なしに下水処理場と同じ様子を観察できるのだ。

実験で約30日間硝化運転を行った結果、多くの医薬品の除去率は中性条件では低く、硝化が進みpHが低下するにつれて向上することが分かった(図4はIBPの結果である)。当初の予想は、硝化運転をするとアンモニアを硝酸に変換する微生物が増えて除去率が上がるだろう、というものであった。ところが実験を行うと、除去率は単純にpHに依存しているということが分かったのだ。

pHへの依存は医薬品の多くにカルボキシル基が付いていることから説明ができる。カルボキシル基が付いた医薬品は、中性ではHが外れたイオンの状態であるが、人間の胃の中のような酸性下では分子の状態となり、体に吸収されやすくなる。それと同じように、活性汚泥の微生物にとっても、pHが低下して分子の状態となった医薬品の方が取り込みやすくなり、除去率の向上につながったということだ。

実験を進めていく中で、カルバマゼピン (CBZ) というほとんど除去されない物質もあった。この物質は^{てんかん}癲癇の発作を予防する医薬品に含まれるが、下水中でも必ず検出され、除去できず、さらには環境中でもほとんど分解しないという厄介者だ。そこで先生は、活性汚泥の種類が違えば処理できるのではないかと考え、排水処理をしている他の施設や廃棄物処分場などの様々な微生物を用いて実験を行った。しかしCBZは除去できず、生物処理ではCBZは分解する事ができないという結論に達した。

生物処理ではないが、先生の研究でCBZの除去に成功した例もある。ひとつは吸着で、分解できないならば活性炭などに吸着させて除去しようというもの。もうひとつはナノろ過を使う方法で、ナノオーダーの穴の開いた膜で医薬品をこし

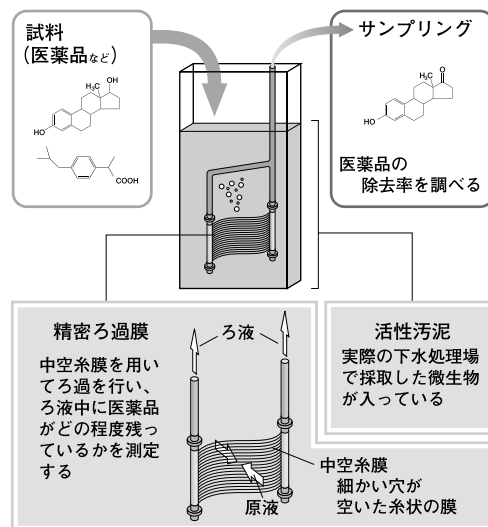


図3 実験装置

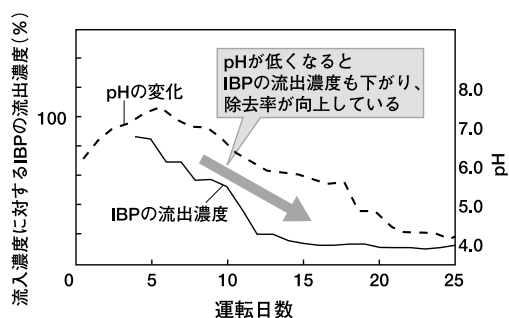


図4 pHとIBPの流出濃度

取るというものだ。医薬品の分子サイズはおおよそ0.5nmなので、ナノろ過を使えばCBZも含めてすべての医薬品を完全に除去する事ができる。

ナノろ過の技術は費用の問題で日本の下水処理場に導入することは難しく、日本の下水処理場でCBZを除去できるようにするためには、更なる研究が必要だ。だが、雨量が極端に少ない国や水源を他国に持つシンガポールのような国では、下水から上水の一部をつくるプロジェクトがスタートしている。そこでは下水中の微量物質をより確実に除去することが求められるため、ナノろ過の技術が大いに役に立つという。

このような先生の調査によって、性能が保証されれば人々はより安心してナノろ過膜を利用することができるだろう。



廃棄物処分場から排出される微量物質

土木工学専攻の地盤工学分野の先生を中心にフィリピンやタイの廃棄物管理を改善するプロジェクトがあるが、浦瀬研究室ではこれに関連して、現地の廃棄物処分場から排出される微量物質に関する調査を行った。先生は以前から廃棄物処分場から出る水の調査で、処分場によっては大量に検出されるビスフェノールA (BPA) という物質に注目していた。BPAは主にプラスチックの成分として知られている。処分場によって主となる廃棄物の種類や埋め方が異なるため検出量に差があるのは当然だが、実際にはこのような理由では説明できない程、検出量に開きがあったのだ。このBPAが大量に検出される処分場から大気中に排出される物質を調べたところ、他の処分場に比べて多量のトルエンやベンゼンなどが検出された。

浦瀬先生はこれを次のように捉えている。処分場に埋め立てられた後も、生ごみは発熱しながら分解する。実際処分場の中は70度にもなる。そこで一緒に埋められているプラスチックも熱分解し、トルエンやBPA、ベンゼンなどが発生する。

これを確かめるために先生が実際に様々なプラスチックを加熱する実験を行ったところ、トルエンやBPAが発生することが分かった。この実験で発生が確認されなかったベンゼンについても先生は次のように考えている。廃棄物処分場の中では稀に自然に火災が起ることがある。その時、プラスチックは蒸し焼きのような状態で不完全燃焼し、ベンゼンが生じる場合もある。このように、生ごみとプラスチックを一緒に埋めると化学反応が起り、処分場全体がトルエンなど微量物質発生の温床になってしまう可能性があるのだ。

日本では焼却技術が進歩してきたため、廃棄物

処分場で生ごみやプラスチックが分解し、自然発火するといった問題はあまり起こらなくなっている。一方、フィリピンやタイでは廃棄物の焼却処理はほとんど行われていないため、そのような事態が発生してしまう。しかし先生が調査を行った処分場では、関係者の意識が向上し新たな取り組みが行われてきた。例えば、廃棄物処分場の傾斜を適正化し、覆土をして水分の浸入を制御することにより、結果として有害物質の発生が抑制されたり、温暖化の原因となるメタンの回収が一部で試みられているなど、ここ5年ほどで改善された点も多い。

浦瀬先生の研究は、人間の都合だけではなく生態系を考えた研究だ。例えば、フィリピンやタイの人たちにとってBPAの除去が必ずしも重要というわけではない。微量物質よりも大量にあるものの、地球温暖化ガスの排出量取引を考えている人にとってはメタンガスが重要だろうし、周辺の住民にとっては有機物を大量に含んだ浸出水が雨季にあふれ出ることの方が目先の問題としては重要かもしれない。しかし先生は、研究の結果がいつかタイやフィリピンで廃棄物処分場を改善する理由のひとつになれば、と考えている。

先生の研究の目標は、人の活動と微量物質の関わりを解明し、それを制御する方法を見つけることである。人の活動は土壌・大気汚染、生態系の破壊などを引き起こす可能性をはらんでおり、これらを避けるためには十分な注意が必要である。自然に負荷を与えずに、より安全で快適な環境を創り出す技術は不可欠であり、これからもその重要性は一層強くなっていくだろう。

環境衛生工学は、下水やゴミの処理など一般の人々が目を背けがちな分野なのではないかと思います。しかし、私たちの生活や自然環境に直接関わってくる、重要な分野でもあります。紙幅の関係で残念ながら紹介することはできませんでしたが、浦瀬研究室では、下水処理場の臭気や泥の中の化学物質に関する研究も行っています。

最後になりましたが、本稿を執筆するに当たり、浦瀬先生には度重なる取材に快く応じていただき、貴重な時間を割いて頂きました。

また、原稿を完成させていく上で多くの助言をしていただいた浦瀬先生に厚く御礼申し上げます。浦瀬先生及び研究室の方々のより一層のご活躍をお祈り申し上げます。(田上 優)