

8 . 生活における環境リスクを軽減するための技術

研究期間：平成18年度～22年度

プロジェクトリーダー：材料地盤研究グループ長 脇坂安彦

担当研究グループ：材料地盤研究グループ（リサイクル、土質、地質） 水環境研究グループ（水質）
寒地基礎技術研究グループ（防災地質）

1 . 研究の必要性

21世紀は環境の世紀といわれており、環境への配慮をせずに公共事業を遂行することは、不可能である。水や土壌は人間の生活・経済活動に不可欠であるが、それ以前に、あらゆる生態系の基盤であり、その保全には細心の配慮をしていく必要がある。こうした配慮が、公共事業のあらゆる局面で求められている。ところが、ここ数年をみても生活に密着した水環境あるいは地盤環境に関する問題が各地で頻発している。これら水環境、地盤環境の問題に対しては、適切な対応ができるような技術体系・社会的体制を整備しておくことが社会的要請となっ

2 . 研究の範囲と達成目標

本重点プロジェクト研究では、水環境に関わる問題のうち、水環境にリスクを与える医薬品、病原微生物および環境ホルモン等の存在実態等の解明、測定法・評価法の開発、地盤環境に関わる問題のうち、土壌・地下水汚染および自然由来の汚染の分析法・評価法・対策法の開発を研究の範囲とし、以下の達成目標を設定した。

医薬品・病原微生物等の測定手法の開発および存在実態・挙動の解明

水質リスク評価および対策技術の開発

地盤汚染分析法および評価法の開発

地盤汚染対策法の開発

3 . 個別課題の構成

本重点プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

生理活性物質の水環境中での挙動と生態系影響の評価方法に関する研究（平成18～22年度）

下水道における生理活性物質の実態把握と制御手法の開発に関する調査（平成18年度～22年度）

水環境中における病原微生物の消長に関する研究（平成16年度～22年度）

土壌・地下水汚染の管理・制御技術に関する研究（平成18年度～22年度）

自然的原因による重金属汚染の対策技術の開発(1)（平成18年度～22年度）

自然的原因による重金属汚染の対策技術の開発(2)（平成18年度～22年度）

4 . 研究の成果

本重点プロジェクト研究の個別課題の平成19年度における成果は、以下の個別論文に示すとおりである。なお、既述の達成目標に関して、成果と今後の課題について要約すると次の通りである。

(1) 医薬品・病原微生物等の測定手法の開発および存在実態・挙動の解明

「生理活性物質の水環境中での挙動と生態系影響の評価方法に関する研究」では、医薬品95種類の一斉分析法の開発、水環境中での医薬品等の実態把握を実施した。その結果、以下のことが判明した。

医薬品95種類の一斉分析法として小西らの方法(1点標準添加法)を標準添加法に変更した方法を実施した。

小河川における医薬品存在実態は、農村地域では都市域に比べ検出数は少なく、それらの濃度も低いことが確認された。

家庭からの排水が下水道において収集・処理され、他の流域に放流されている地域では、医薬品の濃度が低い

傾向にあった。

排水処理施設の整備状況が異なる小河川においてGC/MSを用い11物質の医薬品を調査し排水処理施設の整備状況と医薬品存在濃度の関係を調べた。調査医薬品濃度は、各物質とも下水道普及率が高い地域では、他の地点に比べ低い値を示した。下水道未整備地域の調査医薬品濃度は、下水道が整備された地域の10～50倍の濃度で存在していた。

「下水道における生理活性物質の実態把握と制御手法の開発に関する調査」では、16ヶ所の下水処理場における医薬品の実態把握調査を行った結果、以下のことが判明した。

調査医薬品92物質中、流入水から86物質、放流水から85物質が検出された。

流入水と放流水の中央値を用い下水処理場における医薬品の除去率を求めた結果、中央値が検出下限値以上の62物質中16物質が除去率80%以上であった。また、除去率が大きくマイナスとなり下水処理を受けることによって検出されるようになった医薬品が12物質あった。

下水処理方式を標準活性汚泥法、OD法、その他の3つに分類し、医薬品除去特性の比較を行ったところ、際だった傾向は見られず処理方式の違いによる医薬品除去特性に大きな特徴は認められなかった。

(2) 水質リスク評価および対策技術の開発

「生理活性物質の水環境中での挙動と生態系影響の評価方法に関する研究」では、バイオアッセイを用いた医薬品等の評価を実施し、以下のことが判明した。

5種の生物を用いたバイオアッセイ手法を用いて医薬品が生物に及ぼす影響を調査した結果、46物質中35物質で生物影響が確認された。特に抗菌剤や抗神経薬が高い毒性を示した。

この生物試験結果を用いて下水道普及率が低い地点における生態リスク初期評価を行ったところ、トリクロサンとクラリスロマイシンについてMEC/PNEC >1 となり、詳細な評価を行う必要があると考えられる物質と評価された。

遺伝子手法を用いた河川水曝露実験により魚類への影響を評価したところ、試験水中に医薬品類が検出されるとともに発現量が大きく変化した遺伝子がみられた。このことから、今後は河川中の魚類へのリスク要因を明らかにする必要があると考えられた。

「下水道における生理活性物質の実態把握と制御手法の開発に関する調査」では、下水処理工程の後段に好気条件の生物膜法を追加することによる効率的なエストロゲン類除去の試み、下水処理レベルが魚類雌性化に及ぼす影響についての調査を行った。その結果、以下のことが判明した。

下水処理過程でのエストロゲン類の効率的な除去方法として、標準活性汚泥法実験プラントの後段に好気条件の微生物担体槽と沈殿池を追加することで、高度処理を行った結果、溶解性エストロゲン類の濃度は、溶解性17 β -エストラジオール(D-E2)については、標準活性汚泥法処理水において定量下限値以下にまで低減されており、追加した高度処理工程の効果を評価することはできなかった。

溶解性エストロン(D-E1)については、標準活性汚泥法実験プラント処理水に比べて高度処理水中のD-E1濃度は低減されており、追加した高度処理工程の効果を確認できた。

高度処理水中のD-E1濃度は、予測無影響濃度(PNEC)と同等程度以下に低減させることが可能であることがわかった。

溶解性17 α -エチニルエストラジオール(D-EE2)濃度については、いずれの試料水中から検出されず、分析における検出下限値を下げる必要があると考えられる。

高度処理によって得られた処理水に雄メダカを曝露したところ、ピテロゲニンタンパクの誘導やエストロゲン応答遺伝子の発現は観察されず、本高度処理によって、下水処理水の魚類雌性化影響を確実に防止できることが明らかになった。

「水環境中における病原微生物の消長に関する研究」では、ノロウイルスを対象として、PEG添加濃度および逆転写反応に用いる抽出RNA量の最適化、各種濃縮法による検出濃度の比較とその影響要因の検討、紫外線による不活化の評価を行った。その結果、以下のことが判明した。

PEG沈殿法によるPEGの添加濃度は、流入下水、処理水とも終濃度を8%とすることでノロウイルスの検出濃度が最大となった。

全量 20 μ L の系における逆転写反応では、抽出 RNA 量を 0.5 μ g とすることでノロウイルスの検出濃度が最大となった。

PEG 沈殿法は、遺伝子抽出カラムへの濃縮試料の SS 負荷量を低減させることで、陰電荷膜法に比較してノロウイルスの検出濃度を高められるものと考えられた。

ウイルス遺伝子抽出カラムに対する濃縮試料の SS 負荷量や膜に対する試料の SS 負荷量は、ノロウイルスの検出濃度に及ぼす影響が大きいことが明らかとなった。

濃縮操作を行わない直接法は、一定量以上の濃度でなければウイルスを定量することは難しいと考えられた。

ネコカリシウイルスを 3log 不活化するために必要な紫外線量は 20mJ/cm² 程度であった。

下水試料から分離したノロウイルスを紫外線照射することで、リアルタイム RT-PCR 法による定量値の減少傾向が示された。

(3)地盤汚染分析法および評価法の開発

「土壌・地下水汚染の管理・制御技術に関する研究」では、自然由来溶液を用いてバッチ吸着試験を実施し、ヒ素の土壌吸着特性に関する検討、バッチ吸着試験による有害物質の遅延性の検討、ストックヤードにおける簡易分析法の適用性に関する検討を行った。その結果、以下のことが判明した。

山砂、関東ローム、黒土はヒ素の吸着率が高いが、珪砂は低い。珪砂は人工溶液の方が吸着率が高い傾向がみられた。したがって、吸着層を考慮した汚染対策を考える際には、吸着土壌と汚染由来についての評価が必要になると考えられる。

バッチ吸着試験から求めた遅延係数と、カラム吸着試験から求めた遅延係数の値は、ほぼ同程度となり、バッチ吸着試験により有害物質の遅延性を推定できる可能性が示唆された。

ストックヤードに搬入される土壌を、簡易分析手法を用いて環境基準超過土壌の拡散を防ぐ方法を提案した。実際にストックヤードで適用した結果、71 検体中 7 検体がスクリーニングにかかったが、溶出試験の結果、環境基準内値であることが確認された。

「自然的原因による重金属汚染の対策技術の開発(1)」では、重金属の溶出可能性の高い箇所の調査手法に関して堆積岩地域における重金属の溶出に関して情報を収集し、調査における留意点をまとめるとともに、地質試料の重金属溶出試験法に関して各種岩石からの重金属の溶出特性の pH 依存性を明らかにする実験を行った。その結果、以下のことがわかった。

これまで注意が払われてきた海成の地層のみならず、陸成層から重金属の溶出事例が認められた。それらの地質時代も沖積層から中・古生層間で幅広く認められ、現時点においては幅広く注意を払う必要があることがわかった。

緩衝溶液を用いた溶出試験は、緩衝能のない試験液を用いた場合に比べ、酸性および塩基性の領域において、著しく溶出量が大きく、岩石等からの重金属の溶出を評価する目的で緩衝溶液を用いると、非常に安全側の評価を下す可能性がある。

「自然的原因による重金属汚染の対策技術の開発(2)」では、汚染リスクの高い地質環境の調査法の提案、粒径分布に応じた重金属溶出量評価法の検討、酸性化する試料の重金属溶出量評価法の検討を行った。その結果、以下のことが判明した。

北海道における重金属 GIS マップを作成し、北海道内における重金属を含有する地質について検討した結果、北海道内における重金属を含有する地質(全鉱床)では、新第三紀火山岩類で 37%、付加体の堆積岩類で 22% と多いことが判明した。特に北海道で課題となっている As では新第三紀及び第四紀の火山岩類で 76%、Pb では、Pb 含む Cu/Pb/ Zn 鉱床では新第三紀火山岩類で 49%、付加体堆積岩類で 24% の割合で含有されていることが判明した。

公定法および同法と粒径を変えた溶出試験法を、北海道各地の重金属を含有する岩石ズリで実施するとともに、異なる粒径での長期溶出について検討するため 2mm および 40mm を最大粒径とする長期溶出試験を実施した結果、

- ・ As、Pb、Se と同岩種により多少のばらつきはあるが、粒径が大きくなるほど溶出量が減少する、
- ・ 長期溶出については、堆積岩類において、経過日数 60 ~ 80 日までに概ね最大溶出量となっている、

・公定法、最大粒径 40mm の溶出量分析および長期溶出量の比較から、溶液が酸性化する火山礫凝灰岩など一部の例外を除き、40mm での溶出試験が長期溶出を安全側かつ比較的経済的に評価している、ことが判明し、

・以上をもとに、最大粒径を 40mm とする 40mm 溶出試験法（素案）を提案した。

溶出水が酸性化する試料を用いた溶出試験では、Pb について、46 号試験では基準値以下であった AN1 において、長期溶出試験では 180 日で基準値を超過し、希硫酸溶出試験でも基準値を超過して検出された。長期溶出試験の溶出水の陽イオン・陰イオン濃度は、46 号試験および希硫酸溶出試験と調和的であり、強制酸化試験とは異なる。

(4)地盤汚染対策法の開発

「土壌・地下水汚染の管理・制御技術に関する研究」では、科学的自然減衰を用いたダイオキシン汚染土の浄化処理技術の検討の一環として、微生物のダイオキシン類分解能力を利用した長期的なリスク低減技術について検討した。その結果、以下のことが判明した。

グラニュールや蓮田の土壌を微生物源として混入することで、ダイオキシン類の浄化に有効とされている *Dehalococcoides* 属の存在が確認された。

今後はさらに微生物が活性化する条件を検討していく必要がある。

「自然的原因による重金属汚染の対策技術の開発(1)」では、重金属含有岩石の対策方法は、対策の前提となる自然環境下での溶出過程の解明および対策方法の現場適用性の検証のため自然環境下での検討が必要であることから、屋外実験を行うこととし、建設現場における一般的な処理法と考えられる盛土処理法を取り上げ、屋外実験方法についての検討を行った。その結果、以下の成果を得た。

まず、基礎データとして覆土を行っていない通常の盛土内の環境を測定し、その上で、覆土を行った盛土内の環境を測定し、覆土を行っていない場合と比較することにより、覆土が水等の浸入を抑える効果、盛土内の環境を保つ効果を解明する。

次いで、重金属含有掘削ずりによる盛土を構築し、覆土を行っていない場合と行った場合について、それぞれ盛土内の環境測定および重金属溶出量の測定を行い、覆土を行っていない場合と行った場合の比較および重金属非含有土の盛土（覆土を行っていない場合および行った場合）との比較により、覆土によって水等の浸入を抑える効果、盛土内の環境を保つことによる重金属溶出抑制効果を解明する。

測定項目としては、盛土内の環境に係る項目として酸化還元電位、pH、温度、土壌水分、地下水位等、重金属溶出に係る項目として溶出水の水質および重金属溶出量、また、実験地の雨量が考えられる。

「自然的原因による重金属汚染の対策技術の開発(2)」では、長期汚染リスクを考慮した重金属溶出量評価フロー（素案）の検討および覆土処理工法の検討を行った結果、以下のことが判明した。

酸性化試料を用いた溶出試験結果を踏まえて長期汚染リスクを考慮した重金属汚染評価フロー（素案）を提案した。

覆土処理工法の検討では、現場実験においては、盛土内の地温は冬期間でもプラス温度を示し、酸素濃度は無対策のケースと比較して、覆土を施したケースで夏期に減少し、冬期に増加する傾向を示した。また、盛土内の砒素溶出量は、無対策のケースはもとより覆土を施したケースにおいても土壌溶出量基準値を超過した。また、ヒ素の溶出・拡散評価を行うために実施した室内試験では、覆土材料に使用した床掘土及び購入土は、ヒ素の吸着能を有し、ヘンリー式で仮定することにより表現が可能であった。室内試験結果より実施したヒ素の溶出・拡散評価では、細粒分を含む現地発生土を用いることにより、ヒ素漏洩濃度の低減が可能であったことから、現地発生土の吸着効果を利用した処理対策が有効であることが明らかとなった。

8. DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR DECREASING RISK OF LIFE ENVIRONMENT

Abstract: It is said that the 21st century is the century of the environment, so it is impossible to do public works without consideration of the environment. Water and ground is necessary for human life and social activities, and they are the base of the ecosystem. Therefore, careful consideration of water and ground environments is needed; consideration of them is required for public works. This project carries out the elucidation of occurrence and behavior of pharmaceuticals and microbes, development of measurement methods for them in the water environment, and development of countermeasures, evaluation and analyzing methods for geopollution.

Keywords: water environment, ground environment, pharmaceuticals, microbes, geopollution