

平成20年度「大阪湾圏域における廃棄物・海域水環境保全に係る調査研究助成事業」
成果発表会

日時：2009年7月22日(水) 10:00～16:50
場所：ニューオ-サカホテル「淀」

※敬称略

- | | | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| 9:30 | 開場 | |
| 10:00 | 開会挨拶
大阪湾広域臨海環境整備センター常務理事 | 佐藤 哲志 |
| 10:10 | 基調講演「土壌汚染対策法の改正と今後の土壌問題」
財団法人日本地下水理化学研究所 | 村岡 浩爾 |
| 10:55 | フェニックス事業の紹介「大阪湾フェニックス事業と環境への取組」
大阪湾広域臨海環境整備センター環境課長 | 樋口 進 |
| | —研究者発表— | |
| 11:15 | 1.下水汚泥由来のバイオガス中に含まれるシロキサン挙動と除去に関する研究
京都大学大学院工学研究科都市環境工学 | 大下 和徹 |
| 11:35 | 2.陸起源との比較における大阪湾圏域の難分解性溶存有機物に関する特性評価
兵庫県立健康環境科学研究所水質環境部
(現(財)ひょうご環境創造協会兵庫県環境研究センター) | 仲川 直子 |
| | —休憩— | |
| 13:15 | 3.行政・研究機関等が実施するごみ質調査手法の比較研究
大阪工業大学工学部環境工学科 | 福岡 雅子 |
| 13:35 | 4.水面埋立地に敷設される遮水工の変形挙動評価に関する研究(その2)
NPO最終処分場技術システム研究協会技術向上グループ | 宇佐見 貞彦 |
| 13:55 | 5.食品廃棄物由来デンプン質の生デンプン酵素を用いた省エネルギー型糖化と連続式エタノール発酵
大阪府環境農林水産総合研究所食の安全研究部評価加工グループ | 高井 雄一郎 |
| 14:15 | 6.海面埋立廃棄物処分場酸化池における硝化活性阻害克服の検討
大阪市立環境科学研究所 | 西尾 孝之 |
| 14:35 | 7.大阪湾流域における生活排水由来の海域に流入する1人あたり汚濁負荷量(PLCwb)と生活排水の環境家計簿に関する研究
東洋大学国際地域学部(現 島根大学汽水域研究センター) | 都筑 良明 |
| | —休憩— | |
| 15:05 | 8.最終処分場の安心設計を支援するための処分場ガス挙動解析に関する調査研究
立命館大学理工学部都市システム工学科(現 国立環境研究所) | 石森 洋行 |
| 15:25 | 9.海面最終処分場の安定化指標の現場調査及び安定化シミュレーションに関する研究
室蘭工業大学大学院建築システム工学科(現 暮らし環境系領域) | 吉田 秀樹 |
| 15:45 | 10.粗大・不燃ごみの破碎処理残渣の汚濁物質溶出特性と実態調査
明星大学理工学部環境システム学科 | 宮脇 健太郎 |
| 16:05 | 11.オゾンを活用した高濃度塩分含有廃水からの微量有害有機物質の除去特性と流域-沿岸海域水環境保全に関する基礎的研究
京都大学大学院工学研究科都市環境工学専攻 | 西村 文武 |
| 16:25 | 12.浸透処理型湿地浄化法による最終処分場浸出水の硝化・脱窒処理に関する研究
東北大学大学院工学研究科 | 中野 和典 |
| 16:45 | 閉会挨拶
財団法人廃棄物研究財団専務理事 | 八木 美雄 |

下水汚泥由来のバイオガス中に含まれるシロキサン挙動と除去に関する研究

京都大学 ○大下和徹、石原裕希子、高岡昌輝、森澤眞輔

1. 研究の背景と目的

わが国の下水汚泥の発生量は増加傾向にあり、下水汚泥の減量化・リサイクルの推進を率先して進めていくことが必要と考えられている。現在、下水汚泥の有効利用は建設資材や緑農地利用といったマテリアル利用が主流であるが、下水処理場のエネルギー自給、地球温暖化の観点から、エネルギー利用の推進も求められる。

下水汚泥のエネルギー利用法のひとつに、汚泥の嫌気性消化過程で発生する下水道バイオガス(消化ガス)による発電利用があげられる。しかし、消化ガス発電は都市ガスを燃料とする発電システムに比べ、失火が起こりやすいことや、部品の劣化が早く維持費用がかかることなどの問題点を抱えている。これらの原因は消化ガス中に不純物として微量に含まれる有機ケイ素化合物のシロキサンであると考えられている。シロキサンの構造を図1に示す。この物質がガスエンジン内で高温により酸化され粉体状の二酸化ケイ素(SiO₂)を形成し、エンジン内部に付着することが確認されている。以上のように消化ガス中シロキサンは消化ガス発電に悪影響を与え、発電機の前段での除去が必須条件といえる。

現在消化ガス中シロキサンの対策として、主に活性炭による吸着除去法が採用されているほか、シリカゲルや合成ゼオライト、樹脂吸着材といった他の吸着剤がシロキサン除去効果を有することも報告されている。しかし、吸着材の物性のうちシロキサン除去のために求められる要件は明らかにされておらず、さらに実消化ガスでは、水分や他の有機成分といった共存成分によりシロキサンの吸着が阻害されることが懸念されているが^{1),2)}、それらの影響を定量的に評価した例は少ない。シロキサン除去に関しては、吸着材の交換時期の適正化のため吸着材寿命評価が必要となるが、その際に共存物による破過への影響を把握する必要がある。

以上をふまえ、本研究では、消化ガス中シロキサンの吸着除去法の効率化を大目的とした。まず現状の把握として、下水処理場において発生する消化ガス中のシロキサンや共存物質の濃度や組成の把握を行った。次に、シロキサン除去のために吸着剤に求められる要件を解明することを目的とし、10種の吸着剤について、キャラクタリゼーションを行うと共に、模擬消化ガスからのシロキサンや消化ガス中共存成分に対する吸着特性の評価を行った。この結果をもとに吸着剤の物性の違いがシロキサンや共存成分の吸着特性に与える影響を検討した。最後に、活性炭吸着塔を実消化ガスに適用するため、高沸点炭化水素類がシロキサンの吸着に与える影響について評価するとともに、活性炭の寿命評価法の検討として、シロキサンの吸着等温線を実験的に求め、吸着シミュレーションを行った。本予稿は、主に得られた知見について以下にまとめた。詳細は研究報告書を参照されたい。

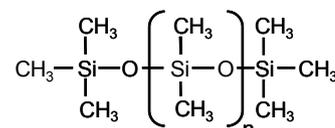
2. 実処理場における消化ガス組成の把握

2-1 消化ガスのサンプリングおよび分析方法

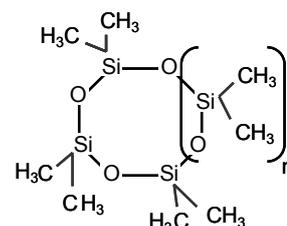
サンプリングは、猪名川流域下水道原田水みらいセンターのガスエンジン前段の消化ガスを対象に行った。シロキサン濃度に加え、共存成分として水分および高沸点炭化水素類を測定対象とした。シロキサンはヘキサン、あるいは樹脂吸着剤により捕集し、GC/MSにより分析した。水分量の測定はJISに定められた排ガス中の水分濃度の測定法に準じ³⁾、測定した。高沸点炭化水素類は溶媒抽出用チューブを用いて捕集し、二硫化炭素により抽出を行い、抽出液に対しGC/MSにより定性定量分析を行った。また、シロキサン連続分析計(VA-3001S:大阪ガスエンジニアリング製)を用いて、実消化ガスのリアルタイム測定を3~5日間実施した。

2-2 シロキサン調査結果

シロキサン濃度およびその他の測定結果を表1にまとめた。消化ガス中に含まれていたシロキサンはD5、D4であり、濃度はD5が21.9±6.1mg/Nm³、D4が6.2±2.4mg/Nm³であった。またD5、D4の存在比は体積で2:1~4:1であった。その他の測定結果につい



鎖状シロキサン(Ln+2)



環状シロキサン(Dn+3)

図1 シロキサンの構造

表1 消化ガス分析結果

成分	濃度	単位
CH ₄	58-67	%
CO ₂	32-45	
水分	10.8 ± 3.6	g/Nm ³
	48.3 ± 10.5	%RH
シロキサン		
D4	6.2 ± 2.4	
D5	21.9 ± 6.1	mg/Nm ³
合計	28.5 ± 6.9	
高沸点		
炭化水素類		
オクタン	1.4 ± 0.6	
ノナン	2.3 ± 1.0	
デカン	5.4 ± 4.4	
テトラデカン	6.7 ± 7.3	mg/Nm ³
エチルベンゼン	1.3 ± 1.0	
合計	15.8 ± 15.3	

ではガスエンジン前における水分濃度は 4.0~21.6g/Nm³であった。相対湿度はおおむね 36.2~60.3%RHであった。高沸点炭化水素類は測定時期により 0.3~42.5mg/Nm³と変動が大きかったが、いずれの月でもデカンが最も多く体積で 30~40%を占めており、ついでテトラデカンやノナンが多く、0.2~17mg/Nm³、0.9~3.6mg/Nm³の範囲で含まれていた。このように、消化ガス中にはシロキサン以外に高沸点炭化水素類が含まれるため、シロキサン吸着除去には、高沸点炭化水素類が、シロキサン吸着に影響を与える可能性がある。

2-3 シロキサンのリアルタイム測定結果

図 2(a)にシロキサン連続分析計を用いた、約 5 日間(期間 A とする)のシロキサン濃度(D4 換算)、外気温度、CO₂濃度の時間トレンドを示す。外気温度は 5~15°C付近で、一日の周期で変化しているが、CO₂濃度は約 35%で安定して推移していた。しかし、シロキサン濃度は、温度変化にともなって、0.6~3.7vol.ppm の範囲で、約 1 日周期で推移した。図 2(b)には、期間 A に別途実施した期間 B のデータを含め、外気温度とシロキサン濃度との関連を示した。図からは、総シロキサン濃度と気温との間にある程度の相関が見られた。シロキサン主成分である D4、D5 の 25°Cにおける飽和蒸気圧は 140Pa、27Pa であり⁴⁾、本研究での D4、D5 濃度はそれぞれ飽和濃度の 1/10⁴、および 1/10²程度と推算される。

相対圧は低いことから、温度により D4、D5 の凝縮が生じていることは考えにくい。Schweigkofler らは、ステンレス容器に消化ガスを直接捕集する際、重合度が高く沸点の低いシロキサンは容器の内壁に吸着されてしまうことが示唆されている⁵⁾。この場合と同様に、35~37°Cで保たれた消化槽から発生した消化ガスが、30°C以下の外気で冷却される過程で、気体で存在していたシロキサンの一部がガス配管、あるいはガスホルダー内で吸着されている可能性が考えられ、それらが気温に応じて平衡状態を保っていると推測された。

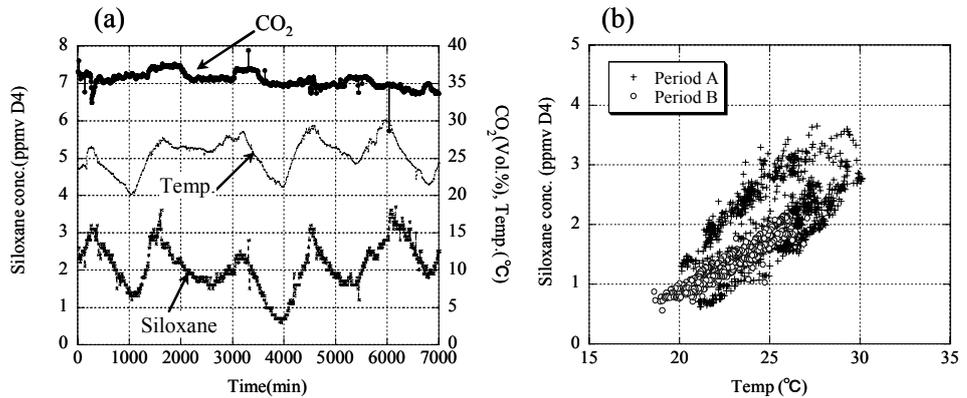


図 2 シロキサン連続分析計による消化ガス中シロキサンのリアルタイム測定結果(a)、および外気温度とシロキサン濃度の関係(b)

3. シロキサン除去に適した吸着剤の要件

3-1 各種吸着剤のキャラクタリゼーション

吸着除去実験には、活性炭 6 種(AC1-6)、シリカゲル 1 種(SG1)、ゼオライト 1 種(Z1)および合成樹脂吸着剤 1 種の(RS1-2)の計 10 種を選定した。吸着剤の含水率、強熱残分、TC、比重および BET 比表面積等の細孔構造の測定結果を表 2 に示す。

3-2 シロキサン、高沸点炭化水素類の吸着量測定

3-2-1 実験方法

各種吸着剤のシロキサンおよび高沸点炭化水素類の吸着量を調べる目的で、流通式破過試験を行った。シロキサンとして、消化ガス中シロキサンの主成分である D4 および D5 を使用した。またシロキサンの吸着除去に影響を与えると考えられる高沸点炭化水素類のひとつとしてノナンを選択し、各種吸着剤に対するノナンの吸着特性を、シロキサンの結果と比較した。実験は、シロキサンまたはノナン試薬に窒素ガスを流通して任意の濃度の模擬消化ガス(以下模擬ガス)を作成し、この模擬ガスを吸着剤に流通し破過曲線を得て、平衡吸着量を算定した。流入濃度は、D4 が 46ppmv、D5 が 21ppmv、ノナンが 63ppmv とした。

3-2-2 実験結果と考察

平衡吸着量の測定結果を図 3 に示した。化学組成や表面官能基がほぼ同様であった活性炭 AC1-6 においても吸着量に違いがみられた。すなわち、シロキサン、ノナンの平衡吸着量には、吸着剤の細孔構造が大きく関連すると考えられた。

表 2 吸着剤の物性値

灰分	TC	かさ密度	BET 比表面積 : S _{BET}	ミクロ孔面積 : S _M	外部表面積 : S _E	総細孔容積	平均細孔径	
unit	wt%	wt%	g/mL	m ² /g	m ² /g	m ² /g	cm ³ /g	Å
AC1	6.5	91.3	1.54	1080	432	644	0.541	20.10
AC2	7.0	88.7	1.49	980	510	470	0.507	20.68
AC3	6.6	88.0	1.06	650	532	118	0.346	21.28
AC4	6.5	91.7	1.24	1060	449	613	0.808	30.42
AC5	5.6	86.3	1.24	1100	856	240	0.553	20.17
AC6	12.6	71.7	1.52	1370	334	1040	0.940	27.47
SG1	92.1	0.6	2.11	717	233	484	0.376	20.99
Z1	99.1	N.D.	2.17	712	569	143	0.506	28.45
RS1	0.0	90.4	1.01	936	—	1080	1.480	63.03
RS2	0.0	93.1	1.04	765	108	657	0.933	48.80

そこで、吸着剤の細孔構造の指標のうち、BET 比表面積および20Å以上の細孔の占める面積であるt-Plot 外部表面積と、2~3種の化合物の平衡吸着量との関係を図4、5に示した。

図4、5に示すように、2種のシロキサン（D4、D5）の平衡吸着量は吸着剤のBET比表面積およびt-Plot外部表面積と、また図4(右)に示すように、ノナン（C9）の平衡吸着量はBET比表面積との間にそれぞれ正の相関が見られ、シロキサンおよび高沸点炭化水素類の吸着量には比表面積の影響が大きいことが示唆された。消化ガス

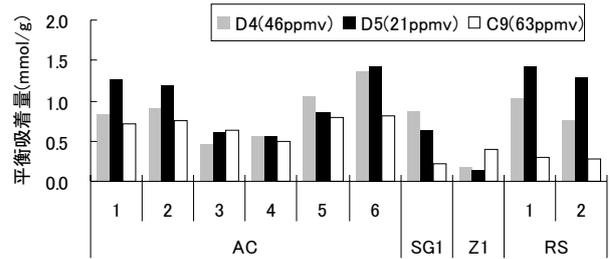


図3 平衡吸着量測定結果

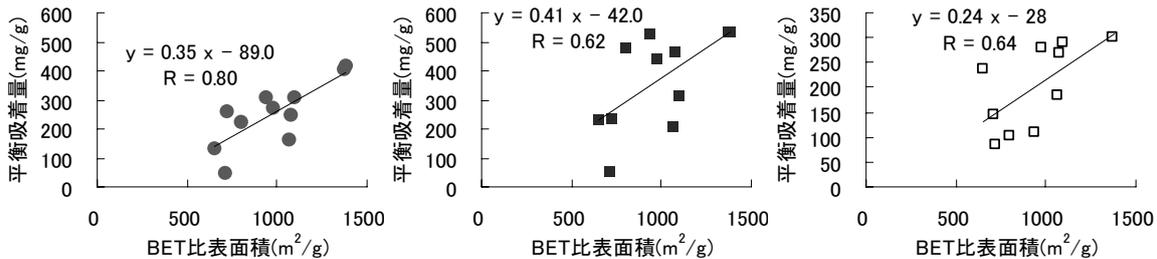


図4 BET比表面積と平衡吸着量の関係(左)D4-46ppmv、(中)D5-21ppmv、(右)ノナン-63ppmv

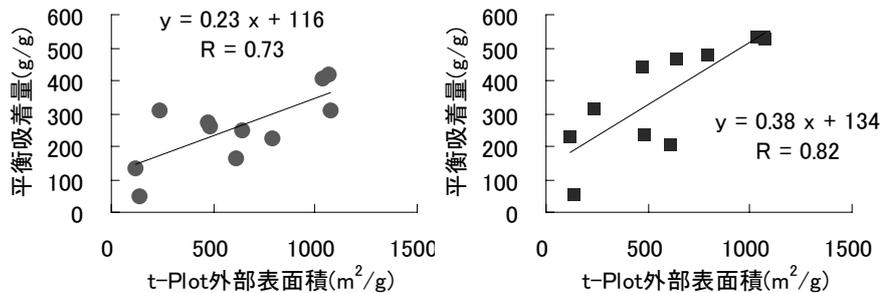


図5 t-Plot外部表面積とシロキサン吸着量の関係(左)D4-46ppmv、(右)D5-21ppmv

発電において、障害となるのは燃焼してシリカを生成するシロキサンであり、高沸点炭化水素類はガスエンジンには影響がないものと考えられる。したがって、消化ガスからは、高沸点炭化水素類の影響を排除しつつ、シロキサンのみを除去することが理想となる。したがって、吸着剤にはシロキサンの吸着量が大きく、ノナンをはじめ高沸点炭化水素類の吸着量の比較的小さいものが望ましいといえる。

図3より、AC3およびZ1はシロキサンよりノナンが吸着されやすいと判断され、これに対し、AC6、SG1、RS1、RS2は比較的ノナンよりシロキサンの方が吸着されやすいと判断される。表2より、これら6種のt-Plotマイクロ孔面積と外部表面積を比較すると、ノナンを吸着しやすい吸着剤は比表面積のうち外部表面積の占める割合が20%程度であった。これに対し、ノナンよりシロキサンの方が吸着されやすいと判断された吸着剤は外部表面積の占める割合が60~100%であった。以上より、シロキサンはメソ孔(外部表面積に寄与する比較的径の大きな細孔)に吸着されやすい傾向が示された。これは、D4、D5の分子サイズは8~10Å程度であり、径の小さな細孔には吸着しにくいことによるものと考えられる。一方、ノナンはマイクロ孔にも吸着されやすい傾向にあることが示唆され、シロキサンほど細孔径の影響を受けにくいものと考えられる。したがって、シロキサンを確実に吸着するにはメソ孔の発達した吸着剤を選定するのが望ましいと考えられた。

4. 高沸点炭化水素類がシロキサンの吸着に与える影響

消化ガス中シロキサンの吸着除去に適していると考えられた活性炭AC6により、シロキサンと高沸点炭化水素類を含む模擬ガスを導入した場合、高沸点炭化水素類がシロキサン吸着に与える影響を定量的に評価することを試みた。実験方法は3-2-1に準じた。

D5を45.3ppmv、ノナンを65.3ppmv含む混合ガスでの、D5、ノナン各成分の破過曲線を図6に示す。この図における縦軸は、D5およびノナンそれぞれの流入濃度に対する出口濃度の比である。D5の出口濃度は単調増加し流入濃度に近づいていくが、ノナンの出口濃度はいちど流入濃度より高くなったのち流入濃度付近まで低下して平衡に達する現象が見られた。

D4、D5の2成分による破過試験でも同様の現象は確認されており、これはD4とD5が吸着剤表面の同じ吸着サイトに競合して

吸着されること、およびD5はD4に比べ吸着能力が高いことが原因といわれる⁶⁾。今回の結果から、D5とノナンの場合でも、ガスの流入の初期には両成分が吸着されるが、吸着細孔が少なくなると、吸着されていたノナンがD5に置き換わり、置換吸着が起こることが確認された。活性炭上では、ノナンとD5は競合関係にあること、D5のほうがノナンより吸着力が強いことが結論付けられた。さらに、辻本⁷⁾は、実処理場のシロキサン除去装置において不純物が除去されなくなり出口で検出されるまでかかる時間がD4よりノナンが短いことを示している。これらの結果から、吸着剤へのこれら3成分の吸着力はノナン、D4、D5の順で大きくなると考えられる。

次に図7において、D5とノナンの混合ガス中のD5の破過曲線を、同程度の濃度のD5のみの破過曲線と比較した。シロキサンのC/C₀が0.1を上回る、すなわち活性炭による除去率が90%以下となるまでの流入ガス量は、ノナンが共存している場合短縮する傾向がみられ、高沸点炭化水素類が共存することにより、シロキサンの破過時間が短縮することがわかった。したがって、2成分混合系では、高沸点炭化水素類がシロキサンの吸着を阻害することが示唆された。この競合関係は、単成分での平衡吸着量の結果から主にメソ孔で生じていると考えられ、シロキサンの吸着量が共存するノナンの影響により低下してしまうことは免れることができず、実ガスにおけるシロキサンの活性炭除去に関しては、ノナン等の高沸点炭化水素類を考慮した設計が必要と考えられる。本研究では、単成分系での寿命評価のための吸着シミュレーションを行い、破過曲線を求め、吸着塔の設計例に言及したが、今後多成分系での評価が課題となる。

5. 結論

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 消化ガス中のシロキサンはD5が $21.9 \pm 6.1 \text{ mg/Nm}^3$ 、D4が $6.2 \pm 2.4 \text{ mg/Nm}^3$ であった。シロキサン、水分ともに測定時期による変動は少なかった。一方高沸点炭化水素類の濃度は $15.8 \pm 15.3 \text{ mg/Nm}^3$ と測定時期による変動は大きかったが、いずれの時期にも消化ガス中に含まれていることが確認された。
- (2) ガスエンジン前段における消化ガス中のシロキサン濃度のリアルタイム測定から、シロキサン濃度は外気温度に対応して変化した。これは、ガス配管内で吸着平衡が保たれた状態で、温度変化により濃度が推移することによるものと推測された。
- (3) シロキサンD4、D5およびノナンの吸着には吸着剤の細孔構造が寄与していることが分かった。水分やノナンの影響をあまりうけずにシロキサンを吸着できるのは、外部表面積が大きく、疎水性表面をもつ吸着剤であると結論付けられた。
- (4) 活性炭へのD5およびノナンの吸着平衡関係は、Langmuir吸着等温式により近似できることが分かった。またD5破過曲線を理論解析により推定することが可能となった。
- (5) 活性炭にD5とノナンを同時に通気する破過試験の結果、D5の破過時間や吸着量が低下することが確認され、実消化ガスの吸着精製過程において、高沸点炭化水素類がシロキサンの吸着を阻害することが示された。そのため今後多成分系での寿命予測法の確立が必要といえる。

謝辞：本研究は、京都大学名誉教授武田信生先生、京都大学松本忠生先生、塩田憲司技術職員、大澤恵芳秘書、大阪府都市整備部下水道室、大阪府猪名川流域原田水みらいセンター、大阪ガス株式会社、Hitz 日立造船株式会社古林通孝氏にご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。最後に本研究は、平成20年度「廃棄物・海域水環境保全に係る調査研究助成事業」により遂行された。ここに感謝の意を表す。

参考文献：1) UK Environmental Agency, 'Guidance on Gas Treatment Technologies for Landfill Gas Engines', Draft for Consultation, 46-47, 2002. 2) 姫野修司ら：消化ガス吸着貯蔵技術の有効性と性能維持特性の基礎的検討、環境工学研究論文集、40、343-352, 2003. 3) JIS Z 8808-1995 排ガス中のダスト濃度の測定方法、4) Schweigkofler M. et al., Determination of siloxanes and VOC in landfill gas and sewage gas by canister sampling and GC-MS/AES analysis. *Enviro. Sci. Tech.*, 33, 3680-3685, 1999. 5) Dewil R. et al., Energy use hampered by the presence of siloxanes. *Energy Conversion & Management*, 47, 1711-1722, 2005. 6) 川崎重工業株式会社：下水汚泥減量化・利用促進事業共同研究報告書, 2004. 7) 辻本聡一郎：シロキサン除去装置用吸着材寿命監視装置の開発、第44回下水道研究発表会講演集、7-9, 2007.

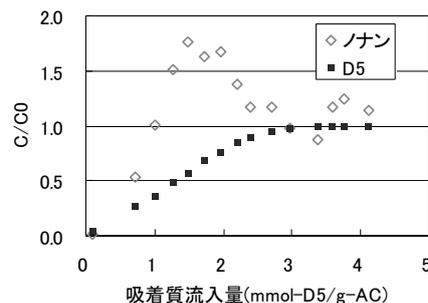


図6 2成分系での各成分の破過曲線

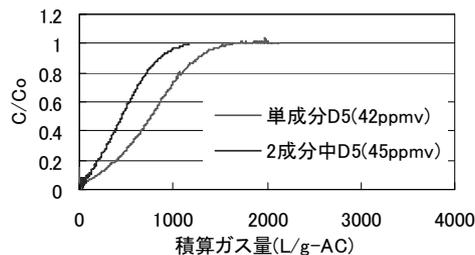


図7 D5破過曲線の単成分と2成分系の比較

陸起源との比較における大阪湾圏域の難分解性溶存有機物に関する特性評価

仲川直子、金澤良昭、梅本諭、上村育代
財団法人ひょうご環境創造協会 兵庫県環境研究センター

1. はじめに

瀬戸内海は、高度経済成長による産業活動の拡大に伴い、干潟や藻場等が埋め立てられるとともに沿岸部では水質汚濁が進行し、大規模な赤潮が発生するようになった。そのため、瀬戸内海の水質改善を目指した総量規制が始まり、産業排水や生活排水からの有機汚濁負荷量は大幅に減少し、水質汚濁状況や赤潮の発生件数等で一定の改善がみられるようになった。しかし、依然として有機汚濁の指標である化学的酸素要求量(COD)に係る環境基準未達成の海域は多く存在しており、近年ではCODの改善が進まない状況にある。

そこで、本研究では、閉鎖性海域のCODの改善が進まない原因として指摘され始めている難分解性有機物の生成メカニズムを解明することを目的に、瀬戸内海の中でも有機汚濁が進行している大阪湾を対象として、陸域側の溶存有機物と海水中の難分解性溶存有機物の構造特性、蛍光特性、分子分布特性を比較検討した。

2. 調査研究方法

平成20年8月に図1に示す大阪湾の5地点(S-1～S-5)と下水処理場及び埋立処分場放流水放流地点(PS-1及びPS-2)の表層水、武庫川流系の4地点(R-1～R-4)の河川表層水、下水処理場及び埋立処分場(P-1及びP-2)の放流水をそれぞれ採取し、保冷した状態で実験室に持ち帰った。実験室に持ち帰った各試料は、直ちにガラス繊維ろ紙(Whatman GF/C)を用いてろ過をしたろ過試料とろ過を行わない生試料とに分けた。

さらに、7地点(S-1～S-5、PS-1及びPS-2)の生試料の一部は、暗所、 20 ± 2 の条件下で通気性を保ち毎分50回転の振とう状態で、難分解性有機物の目安¹⁾²⁾とされる100日間生分解を行い、採水直後と同様に、ろ過試料と生試料とに分けた。

以上の調整により得られた各試料について、以下の(1)～(5)の分析を行った。ただし、採水直後の生試料と100日生分解後の生試料については(1)、(2)の分析のみ行った。

(1) 化学的酸素要求量(COD)の分析

JIS K0102 17 に定める100 過マンガン酸カリウムによる酸素消費量を求めた。なお、ろ過試料から得られた結果を溶存態COD、生試料から得られた結果から溶存態CODを差し引いた結果を懸濁態CODとする。

(2) 全有機炭素(TOC)の分析

島津製全有機体炭素計 TOC - 5000A を用いて有機炭素濃度を求めた。なお、ろ過試料から得られた結果をDOC(溶存態TOC)、生試料から得られた結果からDOCを差し引いた結果を懸濁態TOCとする。

(3) 紫外線吸光度(UV260)の分析

日立製分光光度計 U - 2001 により紫外外部波長 260nm における吸光度(UV260)を測定した。ただし、得られた結果はセル長当たりのミリ吸光度(mABS/cm)で示した。

(4) 3次元蛍光スペクトル分析

日立製分光蛍光光度計 F-4500 を用いて、励起波長のサンプリング間隔 10nm、蛍光波長のサンプリング

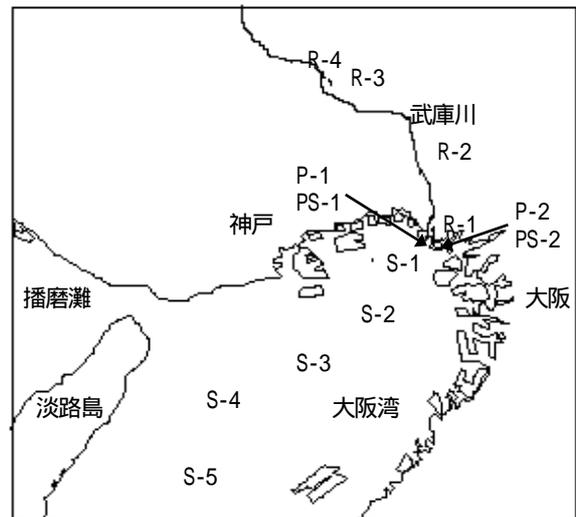


図1 試料採取地点

代表連絡者名 ; 仲川直子

連絡先住所 ; 〒654-0037 神戸市須磨区行平町 3-1-27

電話番号 ; 078-735-6922

E - M a i l ; naoko_nakagawa@pref.hyogo.lg.jp

キーワード ; 難分解性溶存有機物、大阪湾、COD、3次元蛍光スペクトル分析、分子量分布

間隔 5nm、スキャンスピード 2400nm/min、ホトマル電圧 700V の条件で3次元測定を行った。

(5) ゲルクロマトグラフィー

海域各地点の表層水のろ過試料と、100 日生分解後のろ過試料については 5 倍濃縮に、その他のろ過試料については 10 倍濃縮になるように、ロータリーエバポレーターを用いて、48±2 の温浴上で減圧濃縮を行った。得られた濃縮試料はシリンジフィルター (孔径 0.45 μm) でろ過を行い、ゲルクロマトグラフィー測定用試料とした。

ゲルクロマトグラフィーは内径 2.5cm、長さ 100cm のカラムを用いて、表 1 に示す条件で実施し、分取した溶出液については、それぞれ DOC と UV260 を測定した。(測定方法については (2)、(3) 参照。)

表 1 ゲルろ過の諸条件

ゲル担体	Sephadex G-15 排除限界 1,500 Da
充填高さ	90cm
溶離液	蒸留水
溶出速度	1.1mL/min
添加量	5 mL (5 倍濃縮、または 10 倍濃縮試料)
分取	フラクションコレクターにより 5mL ごとに試験管へ自動分取

3 結果と考察

(1) COD 及び TOC を指標とした有機物量とその溶存状態

各試料の COD 及び TOC の結果を溶存態と懸濁態とに分けて図 2、3、4 に示す。ただし、TOC は得られた結果を COD と同じ単位に換算 (炭素量を酸素量に換算 $TOC(mgO/L) = (32/12) \times TOC(mgC/L)$) して表記した。

図 2、3 より、溶存態の占める割合は海水よりも河川水等の方が高く、沿岸域よりも沖合の方が高いことが分かった。そのため、沿岸域における懸濁態は外来由来でなく内部生産由来であると推察できた。また、各試料の COD/TOC を比較すると、P-2 が 0.38 と最も小さく、埋立処分場放流水には化学的酸化を受けにくい有機物が多く含まれていることが分かった。さらに、海水試料のみで比較すると、沿岸域よりも沖合の方が小さくなる傾向が見られ、沖合の方が化学的酸化を受けにくい有機物の占める割合が高いと考えられる。

図 3、4 より、難分解性有機物として分解されずに残る有機物の割合は PS-1 を除く沿岸域より沖合の方が高かったため、下水処理場において生物処理が十分なされた有機物を多く含む海域を除く沿岸域は、沖合より全有機物に占める難分解性有機物の割合は低いと言える。

また、100 日間の生分解後、全有機物に占める溶存態の割合が高くなることが認められ、難分解性有機物として残存する有機物の大半は溶存態であることが示された。さらに、難分解性有機物として残存した有機物の割合を TOC と COD で比較すると、S-4 を除く全ての地点において、TOC より COD の方が低い値を示しており、難分解性有機物を構成する有機物は化学的酸化を受けにくい有機物の方が多くを占めていることが示された。

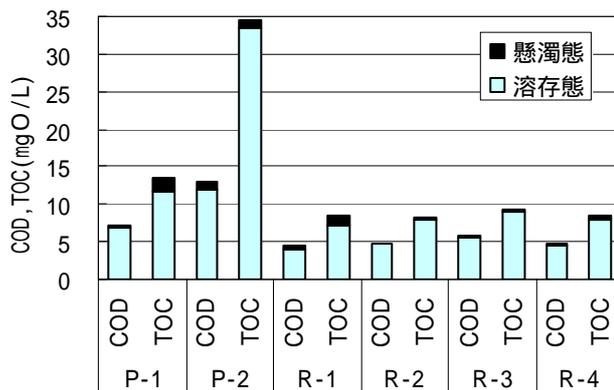


図2 河川水等の COD、TOC の態別結果

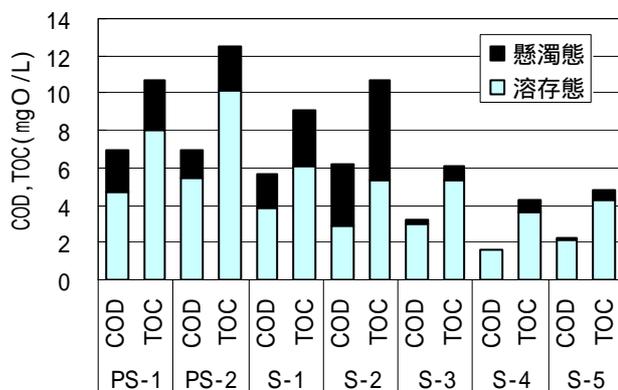


図3 海水(0day)の COD、TOC の態別結果

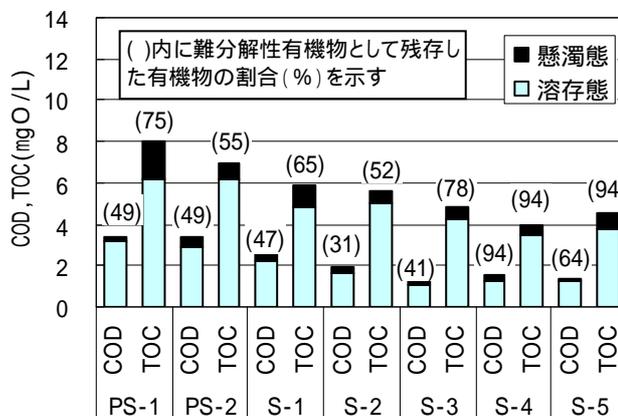


図4 海水(100day)の COD、TOC の態別結果

(2) DOC と UV260 の比 (UV260/DOC) による溶存有機物の構造特性

河川水 4 地点における UV260/DOC は 18 ~ 28 (mABS/cm/(mg/L)) となり、河川水の多くが 20 ~ 30 (mABS/cm/(mg/L)) の範囲に入ると報告³⁾とほぼ一致した。また、下水処理場放流水である P-1 は 20 (mABS/cm/(mg/L)) と高く、UV260 が吸収を示す芳香族や不飽和二重結合等の官能基の占める割合が河川水と同程度であることが分かった。一方、埋立処分場放流水である P-2 は 12 (mABS/cm/(mg/L)) となり、海水 (0day) 5 地点における結果である 10 ~ 16 (mABS/cm/(mg/L)) と同程度となった。このことと、土壤腐植物質を多く含む森林流出水の UV260/DOC が約 30 (mABS/cm/(mg/L)) という知見³⁾から、海水及び埋立処分場放流水には、土壤腐植物質のように芳香族や不飽和二重結合等の官能基が多くを占める有機物が河川水ほど含まれていないことが推察できた。さらに、沿岸域より沖合の方が UV260/DOC の値が小さくなる傾向があったため、土壤腐植物質等が含まれる割合は沖合に行くほど低くなることが示唆された。

(3) 3次元蛍光スペクトル分析による溶存有機物の蛍光特性

各試料のスペクトルのピーク位置を図 5, 6, 7 に示し、それぞれのピーク位置を A, B, C の3つの群に分類した。なお、A 群はタンパク質様ピーク(チロシン及びトリプトファンで見られるピークと類似した位置に現れるピーク)であり、B 群 C 群は腐植物質様ピーク(腐植物質で見られるピークと類似した位置に現れるピーク)であることを確認している。

これらの図より、河川水等のピークは B 群に多く認められたのに対して、海水 (0day) では、A 群 B 群ともに多くのピークが認められた。そのため、河川水等に比べ、海水の方がタンパク質タイプの有機物を多く含むと考えられるとともに、海水中の溶存有機物がタンパク質様と腐植物質様の2つの蛍光を発するグループに大別されるという知見⁴⁾と一致した。また、図 6, 7 より、A 群に認められたピークの数が増え、代わりに B 群 C 群に認められるピークの数が増えることが分かった。このことより、生分解過程中、タンパク質タイプの有機物が何らかの作用を受け、腐植物質タイプの有機物へと変化し、難分解性溶存有機物として残ると考えられる。

(4) ゲルクロマトグラフィーによる溶存有機物の分子量分布特性

得られたゲルクロマトグラムの内、河川等のゲルクロマトグラム、海水 (0day) と海水 (100day) の TOC の値の差が大きかった PS-1, S-1 及び S-2 の海水 (0day と 100day) のゲルクロマトグラム、及びその他の地点の海水 (100day) のゲルクロマトグラムを図 8 に示す。

なお、分画可能範囲外の物質の溶出位置である Vo (void volume) は Fraction No.32 であり、分子量の目安として溶出させた Vitamin B₁₂ の溶出位置は Fraction No.54 であった。そのため、Fraction No.32 をみかけの分子量 1,500 (使用したゲル SephadexG-15 の分画可能分子量

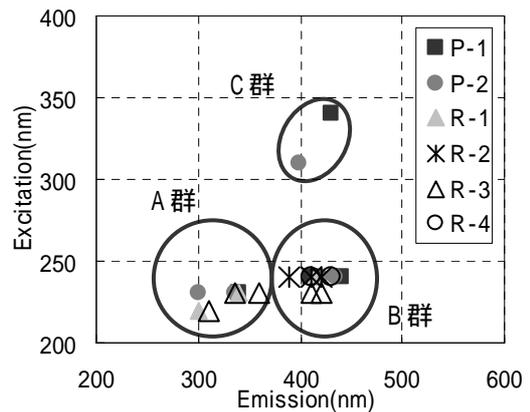


図5 河川等のピーク位置

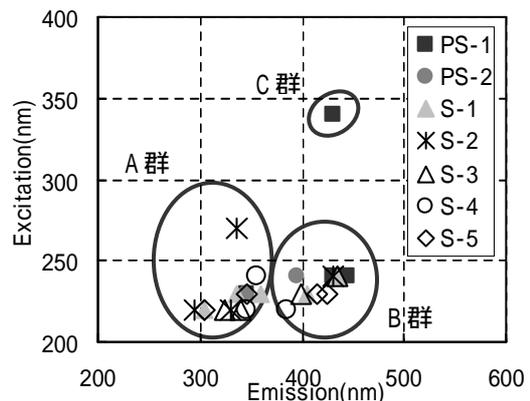


図6 海水(0day)のピーク位置

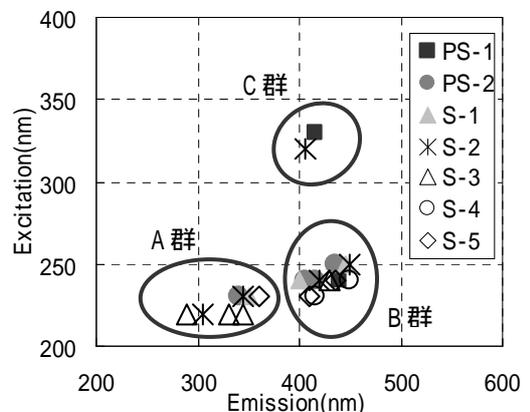


図7 海水(100day)のピーク位置

が1,500である。)の位置とし、Fraction No.54の位置をみかけの分子量 1,355 (Vitamin B₁₂の分子量が1,355である。)の位置とした。また、各ピークを分類するために Fraction No. 20~90を (分子量 1,500 付近及び 1,500 以上)、(分子量 1,355~1,500)、(分子量 1,355 付近)、(低分子量)の4つの画群に分割した。

河口域であるR-1を除く河川水では、画群にはピークが認められず、画群に最も大きなピークを示すとともに、これらのUV260/DOCは約20(mABS/cm/(mg/L))と高い値を示した。そのため、河川水に含有する有機物は海水に含有する有機物に比べると高分子側に分布し、芳香族や不飽和二重結合等の官能基が占める割合が高い有機物を最も多く含むと言える。また、河川水等では画群にピークが認められたが、海水では画群にピークは認められなかったため、陸域から流入するみかけの分子量 1,355 付近の有機物は海水中に残存しないことが推察できた。

次に、海水(0day)と海水(100day)を比較すると、画群でピークを示す有機物より、画群でピークを示す有機物の方が分解を受けやすいことが分かり、低分子分画よりも高分子分画の方が炭素源として生物利用されやすいという知見⁵⁾と一致した。また、海水(100day)で大きなピークを示したのは、画群とであり、それらのピークにおけるUV260/DOCを比較すると、画群の方が高いことが分かった。このことより、難分解性溶存有機物は概ね分子量 1,355~1,500の間と低分子量域に分布するが、芳香族や不飽和二重結合等の官能基が占める割合は低分子量域の方が高いことが示された。

4 結論

本研究により、大阪湾における沿岸域から沖合にかけての海水中に含まれる有機物とその難分解性有機物、及び、陸域負荷としての河川水、下水処理場放流水及び埋立処分場放流水に含まれる有機物の種々の特性について有用な知見を得ることができたと考えられる。しかし、難分解性溶存有機物については、外来性と内部生産性の両面から総合的に解析を行い、難分解性溶存有機物に至るメカニズムを解明していく必要がある。そのため、今後は、内部生産に焦点を当てた難分解性溶存有機物の生成についても検討していくこととする。

参考文献

- 1) 今井; 地球環境研究センターニュース Vol.14 No.7, 2003、
- 2) 福島、石橋ら; 水環境学会誌 23 巻第 6 号 360 - 366, 2000、
- 3) 福島、今井ら; 水環境学会誌第 20 巻第 6 号 397 - 403, 1997、
- 4) K.Mopper、A.Schultz; Marin Chemistry 41 229-238, 1993、
- 5) 今井; 水環境学会誌第 27 巻第 2 号 2 - 7, 2004

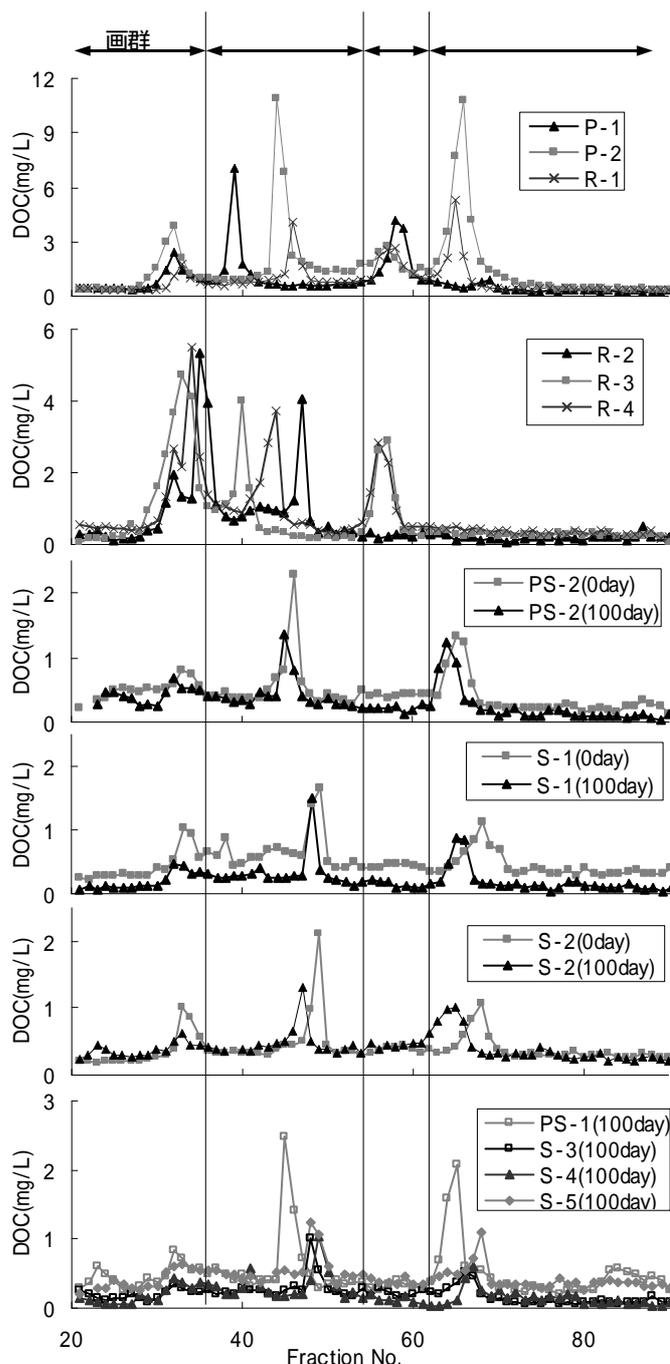


図8 各試料のゲルクロマトグラム

行政・研究機関等が実施するごみ質調査手法の比較研究

- 福岡雅子（大阪工業大学工学部環境工学科）
杉山涼子（富士常葉大学環境防災学部）
山川 肇（京都府立大学大学院生命環境科学研究科）
渡辺浩平（帝京大学文学部社会学科）

(1) 調査研究の背景と目的

昨年度、本研究助成を得て、全国の自治体がどのようなごみ質調査をどのような方法で実施しているか、また、それらの調査データを発生抑制や資源化のためにどのように利用しているかについての調査・把握を試みた。その結果、ごみの物理組成の公式な調査方法である「一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項について（環整第95号 昭和52年11月4日）」で示された方法以外の「独自方式」によるごみ質調査を、約100自治体で実施しており、その目的や方法が多様であることがわかった。

今年度は、ごみ質調査の精度の向上と標準化を目指して、既存の知見を整理するとともに、実際のごみ質調査を対象とした測定によってデータを収集し、それらを利用してごみ質調査のあり方の検討・考察を行うことを目的として調査研究を実施した。

(2) 調査研究の概要

今年度は、ごみ質調査手法について、以下の3つの方向から検討・提案を行った。

1. ごみ質調査の形式知になっていない知見や経験事項を抽出して明示する試み
2. ごみ袋へのナンバリング及び乱数表によるサンプリングの手法の提案と、サンプリング量によるごみ質のばらつきの検証
3. 写真による作業管理と記録のための手法の検討と、写真管理基準の提案

(3) グループワークによるごみ質調査手法の表出化

日頃からごみ質調査を直接的に実施し、また、調査結果を計画策定や研究に活用しているプランナー及び研究者を参加者として、ごみ質調査手法の問題点・改善点を明らかにするためのグループワークを行った。9名の参加で、「良くないごみ組成調査結果」について要因をリストアップし、特性要因図（図1）を作成した。

特性要因図は、魚骨図、フィッシュボーンダイアグラムとも呼ばれ、品質管理の手法として考案され、活用されているものである。問題としている特性（結果）と特性に影響を及ぼすと考えられる要因（原因）の関連を魚の骨のような図に表したものである。

特性を「良くないごみ組成調査結果」としてその要因を体系化することにより、これまで図表や文章で明示されることが少なかった熟練経験者の知見を整理し、ごみ質調査手法の暗黙知を形式知にする表出化を試みた。

（連絡先）福岡雅子 〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1 大阪工業大学工学部環境工学科
電話：06-6954-4534 e-mail：fukuoka@env.oit.ac.jp

【キーワード】 ごみ組成 分析手法 独自方式 特性要因図 サンプリング

良くないごみ物理組成分析結果

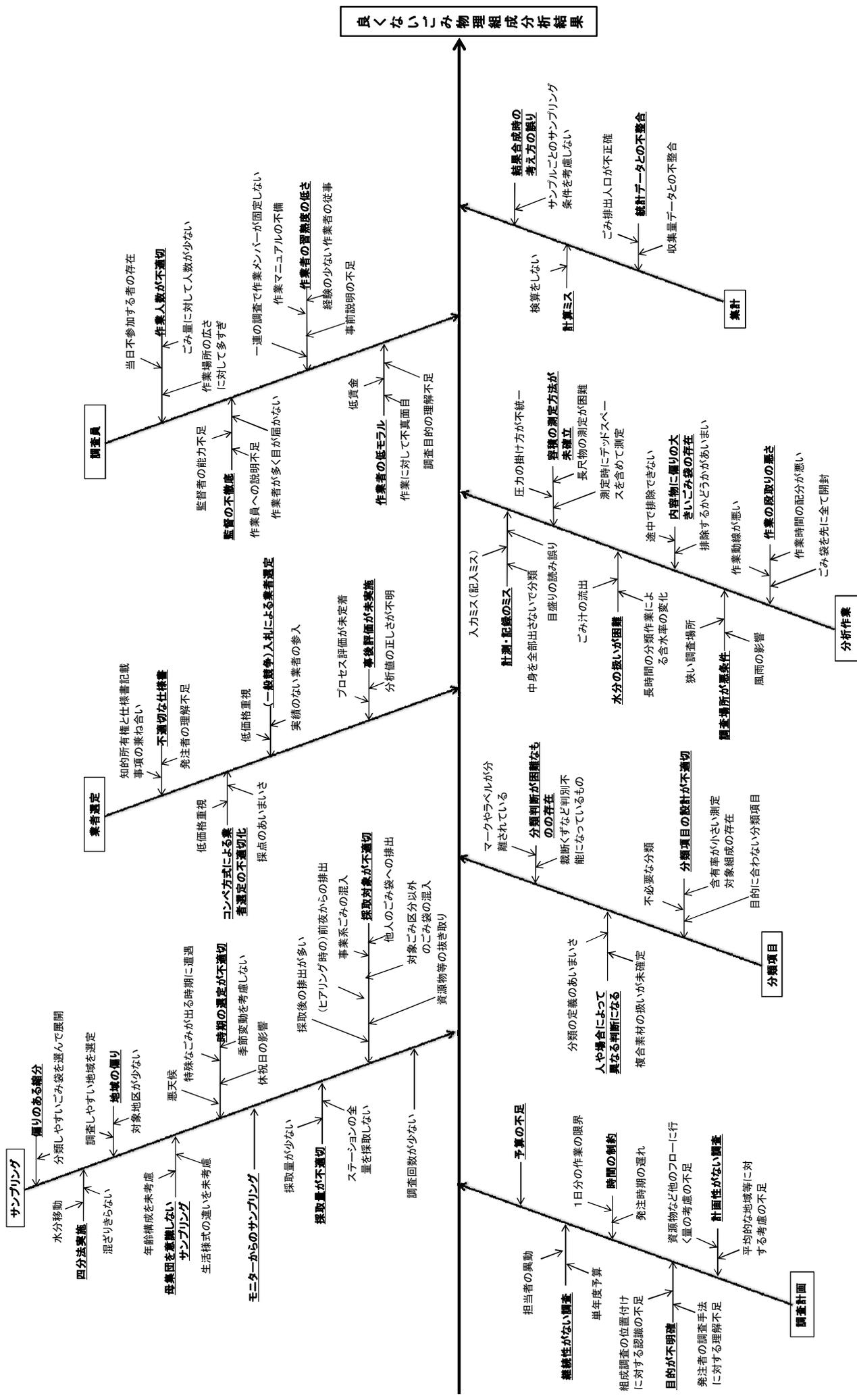


図1 良くないごみ組成調査結果の特性要因図

(4) ごみ質調査手法検証のための測定（八尾市でのごみ質調査）

大阪府八尾市でごみ質調査を実施し、ごみ質調査の精度と調査手法の関係についての基礎的データを収集した。

1) 調査方法

特に、調査結果に影響が大きいサンプリング方法に着目し、以下の3種類の調査を行った。

- ①複雑ごみ：80袋を対象に、ごみ袋単位に小型家電が排出される頻度と具体的な品目・量を把握。（2009年2月）
- ②複雑ごみ：20袋ずつ4回に分けてごみ質を把握し、そのばらつき状況を把握。（2008年11月, 2009年2月）
- ③可燃ごみ（モデル地区）：40袋ずつ2回に分けてごみ質を把握し、ばらつき状況を把握。（2008年11月, 2009年2月）

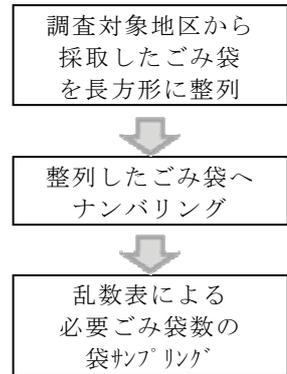


図2 ランダム袋サンプリングの手順

2) ランダム袋サンプリング

調査対象地区のごみステーションから収集したごみ袋を2又は4グループに分ける際に、恣意的にならないように袋単位でのランダム袋サンプリングを行った。

ランダム袋サンプリングは図2の手順で行った。



写真 サンプリングのために番号を振ったごみ袋

3) 調査結果

複雑ごみについては20袋、可燃ごみについては40袋は、ごみ質調査の基礎単位としては少なく、ごみ質の調査結果にばらつきが生じることが分かった。しかし、どの程度のサンプリング量が適切かは今回の調査で把握することはできていない。

また、複雑ごみの小型家電による各ごみ袋への影響は大きく、調査対象量を絞り込むためのランダム袋サンプリング法は有効であることが今回の調査で明らかとなった。

ごみ質の各項目毎のばらつき（変動係数）を見ると、全体的には、プラスチック類、紙類、厨芥類等のように、ごみ全体に占める割合の高い物のばらつきは小さい。このことから、分類項目が少なければ、サンプリング数は少なくとも済むことになる。一方、割合が2～3%のものでは、ばらつきが大きい場合と小さい場合がある。例えば、トレイ・カップ・パック・コップ等は2.05%で変動係数は10%程度である。一方、新聞は2.28%であるがその変動係数45%である。これは排出者の偶発的行動の影響を受けやすいものとそうでないものの差によると思われる。また、1点の重さが軽く排出点数が多いものと、1点が重く排出点数が少ないものの違いもあると考えられる。これより、把握項目により適切なサンプリング量の目安を定めるべきであるといえる。

(5) ごみ質調査における写真の活用の検討

図1で示したように、「良くないごみ質調査」が実施される要因の一つとして、プロセス評価が行われない状況がある。どのような方法によっても、調査結果の数値は得られるため、不適切なサンプリングや手抜き調査が実施されてもそれを見抜くことが難しい。一方、建築・土木の工事管理には、従来から写真撮影による工程管理が行われてきた。そこで、このような既存の写真による工程管理の事例を整理し、ごみ質調査における写真撮影についての考え方を次のようにまとめた。

- 調査対象としたごみがどれだけの量で、どのような状況であったかを、後日でも画像で確認できるようにする。
- サンプリング、縮分、分類前計量、分類、分類語計量の各段階ごとの調査実施状況を写真記録に残すことが、調査が偽りなく、確実に、計画どおりに実施されていることの証拠となる。つまり、工程管理のために、写真撮影を行う。
- 分類後のそれぞれの項目の写真を、後日でも画像で確認できるようにする。計量終了後の調査対象ごみは通常は廃棄するため、後日に目視で確認することができない。そこで、画像は重要なデータとなる。
- 排出区分の誤りや未使用で廃棄されたごみの状況を撮影することにより、排出者に対する啓発活動の素材とする。

(6) 結論及び今後の方向

本調査研究により、以下の結論を得ることができた。

グループワークのごみ質調査手法の表出化の試みにより、信頼性が低い調査データが出現する原因を、特性要因図に整理することができた。

サンプリング方法及びサンプリング量に着目して実際のごみ質調査の測定を行った結果、特に、排出頻度が低い小型家電製品等の割合が多い複雑ごみ（八尾市の名称であり、一般には不燃ごみと呼ばれる）については、調査協力を得た八尾市が従来行っていた調査におけるサンプリング量では、少ないために、結果が不安定になる可能性が高いことがわかった。しかし、どのくらいの量があれば適正といえるかについては、今年度の調査結果だけでは判断できない。

写真による作業管理は、他分野の工事管理などに利用されており、ごみ質調査においても活用可能と考えられる。

今後は、さらに測定や理論研究により、適正なサンプリング量についての検討を進め、サンプリングに関するごみ質調査手法の提案を行いたい。また、調査経験者からの聞き取りなどを継続し、ごみ質調査手法に関する知見・経験則等の図表・言語化を進めていきたい。さらに、写真管理基準については、まだ、今回提案した基準を調査現場で使用していないため、本格導入までに問題点や改善点を確認する必要がある。そこで、実際にごみ質調査の現場で活用して、検証を行いたい。

本調査研究の実施にあたって、八尾市経済環境部にごみ質調査のフィールドの提供をしていただくなど、多くの方々の協力を得た。皆様に感謝いたします。

水面埋立地に敷設される遮水工の変形挙動に関する調査(その2)

○宇佐見貞彦¹⁾、工藤賢悟¹⁾、加納光¹⁾、原田高志¹⁾、柴田健司¹⁾、松山眞三¹⁾、今泉繁良²⁾
 1)特定非営利活動法人 最終処分場技術システム研究協会、2)宇都宮大学

1. 研究の背景と目的

埋立地底部地盤全体が沈下するような水面埋立地における遮水工の挙動については、十分な研究例がない。そこで、水面埋立地における遮水工の適正設計法を確立することを目指して、大型土槽を用いた模擬地盤の沈下と遮水シートの挙動に関する実験を行い、遮水シートの挙動を明らかにすることとした。

2. 研究の方法と報告書の構成

本研究は、図1に示すフローと構成で実施した。昨年度は既存文献調査によって、水面埋立地における遮水シートの設計が、有限要素法等を用いて、要素間内の遮水シートが均一にひずむという仮定で行われていることが明らかになったことから、大型土槽を用いて底部地盤の沈下を模擬した実験を行い、遮水シートの変形挙動を把握することとした。

3. 大型土槽を用いた模型基盤の沈下実験

本研究では、水面埋立地における遮水工の適正設計法を確立することを目指して、図2に示す大規模な沈下モデル実験を行った。実験に用いた遮水シートはLLDPE及びPVC(3mm)であり、その表裏にひずみゲージを貼り、基盤の沈下により遮水シートに生じるひずみを計測した(図3)。

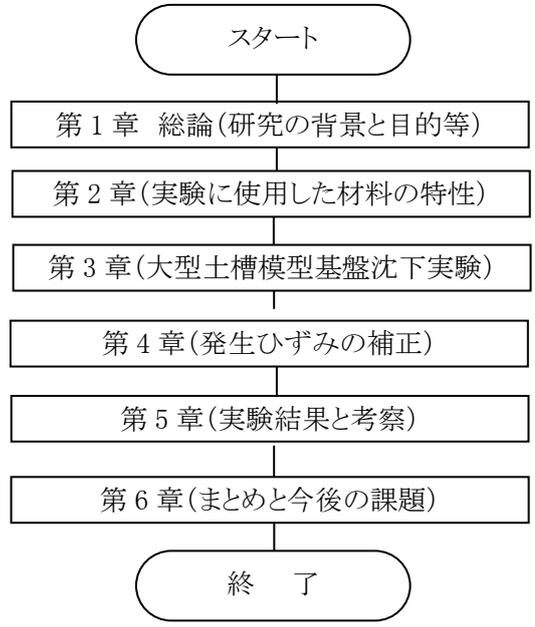


図1 研究フローと報告書の構成

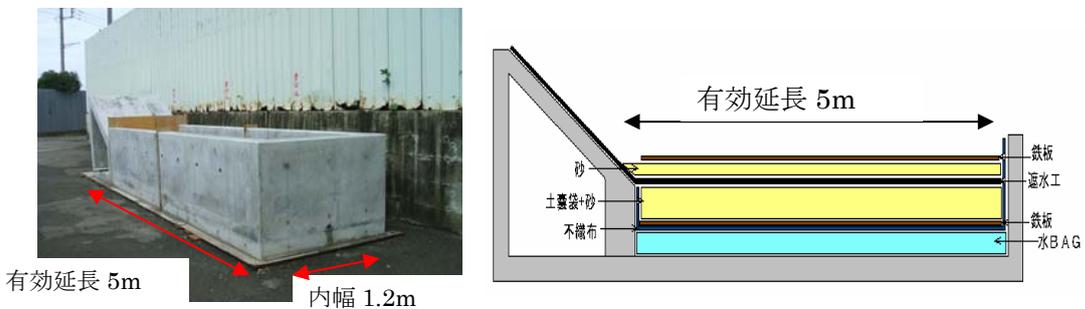


図2 実験に用いたコンクリート土槽

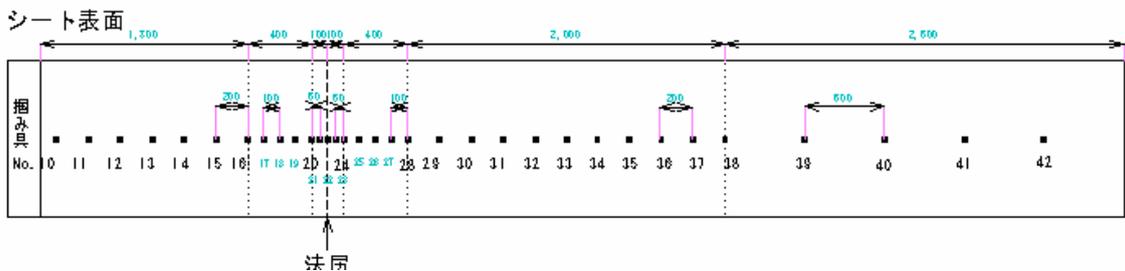


図3 遮水シートのひずみゲージ貼付け位置

【連絡先】 宇佐見 貞彦(八千代エンジニアリング株式会社 総合事業本部環境施設部)
 〒161-8575 東京都新宿区西落合 2-18-12 電話 03-5906-0581 FAX03-5906-0817
 E-mail:sd-usami@yachiyo-eng.co.jp

【キーワード】 遮水シート、基盤沈下、LLDPE、PVC、ひずみ

実験は、最初に土槽内に水バックを設置し、その上に不陸整正用鉄板(厚さ 1mm)、土砂、保護マット+遮水シート+保護マット、土砂、荷重分散用鉄板の順に設置し、鋼矢板と大型土嚢により荷重を載荷した。

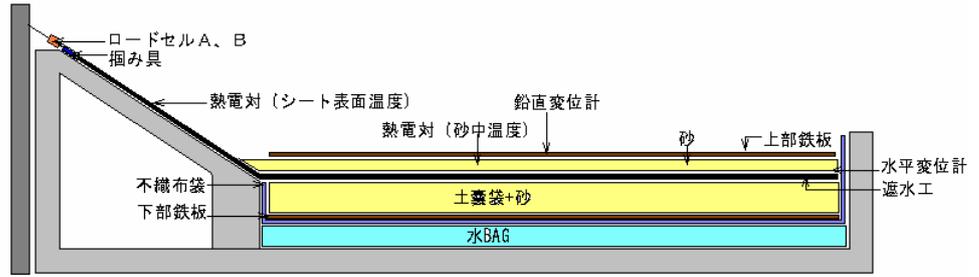


図4 計測機器設置の概略状況

実験状況を図 4 に、計測機器の配置を図 5 に示す。計測は、法面端部荷重(ロードセル)、法面部遮水シート温度、土槽内遮水シート温度、遮水シート鉛直変位(四隅はレベル計測、中央部は変位計設置)、遮水シート端部水平変位、及び遮水シートひずみ 64 か所である。



図5 実験状況

4. 計測ひずみの補正

計測したひずみに対し、①リード線の感度補正、②温度変化による熱出力補正、③ひずみゲージ貼付による拘束効果補正を行った。

補正後の実ひずみは、LLDPE ではひずみゲージ値の約 1.4 倍、PVC ではひずみゲージ値の約 6 倍となった。

5. 実験結果の概要と考察

今回の実験で得られた主要な結果は、以下のとおりである。

- ①遮水シート下部の基盤沈下は、これを支持する水枕の内水を排除することにより沈下を模擬したが、荷重を均一に積載できなかったことなどから不同沈下が生じた。そのため、鉛直沈下計で測定した沈下量を、沈下の境界部のレベル測定結果を用いて補正して使用した(図 6)。
- ②沈下に伴う遮水シートの水平変位は、斜面先から水平方向へ 5m 離れた地点では、ほとんど生じていなかった(図 7)。
- ③遮水シート上の载荷ならびに基盤の沈下により、斜面上端に働く引張力は、遮水シートの弾性係数の二乗根に比例している可能性が高い。すなわち、斜面部の固定工に働く荷重の評価モデルは、弾性係数の二乗根に比例するような弾性モデル等の妥当性を示唆している。
- ④基盤の沈下量と遮水シートのひずみの積分値(=伸び量)は、計測の不具合を除くと、ほぼ近似しており、本実験で得られた補

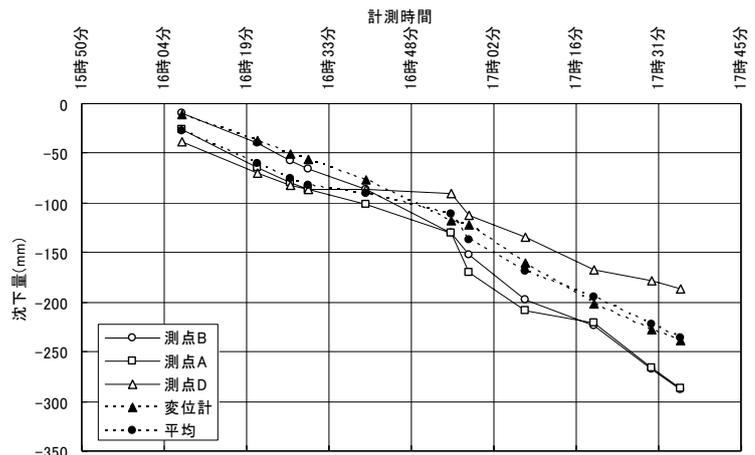


図6 鉛直変位計と土槽四隅のレベル計測結果

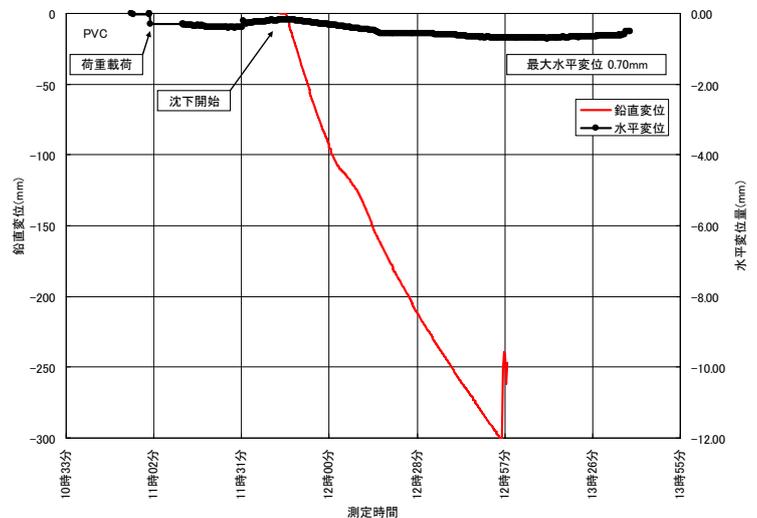


図7 遮水シートの鉛直変位と水平変位(PVC)

正後実ひずみ値の妥当性を示唆している(図 8)。

⑤基盤の沈下に伴う遮水シートの軸ひずみは、斜面先から両側に 500mm 程度以内で大きく生じており、斜面先から水平方向へ 1.0m も離れた場所では、ひずみがほとんど発生していない(図 9)。

⑥この軸ひずみは、弾性係数が大きい LLDPE より、小さい PVC の方が狭い範囲にピーク値が現れている。遮水シート全体が均一に伸びていることはない(図 10)。

⑦また、軸ひずみのピーク値は、沈下量が 100mm 程度の場合、LLDPE で 1.9%、PVC で 6%程度である。軸ひずみのピーク値は、固定工に働く荷重と同様に、遮水シートの弾性係数の二乗根に逆比例の関係が見られる。

⑧弾性係数の小さい PVC の場合は、斜面上のシートにひずみの伝播現象と考えられる結果が確認された(図 11)。

⑨曲げひずみのピーク値は、斜面先付近に生じ、この地点は沈下の進行に伴い、両側に移動していく。

⑩以上のように、基盤の大規模沈下に伴い生じる遮水シートのひずみは、均一ではなく、斜面先付近に集中する。したがって、遮水シートの応力・ひずみ等を計算するとき、均一伸張を仮定したモデルを使用すると危険側に評価することとなり、不均一なひずみ現象を再現するモデルを使用しなければならないといえる。

表1 遮水シート法肩端部に働く荷重と弾性係数の関係

項目	LLDPE	PVC	LLDPE/PVC
沈下開始時荷重	170kg	32kg	5.3
沈下量 90mm 時荷重	400kg	130kg	3.1
5%弾性係数	62MN/m ²	9.3MN/m ²	2.6(二乗根)

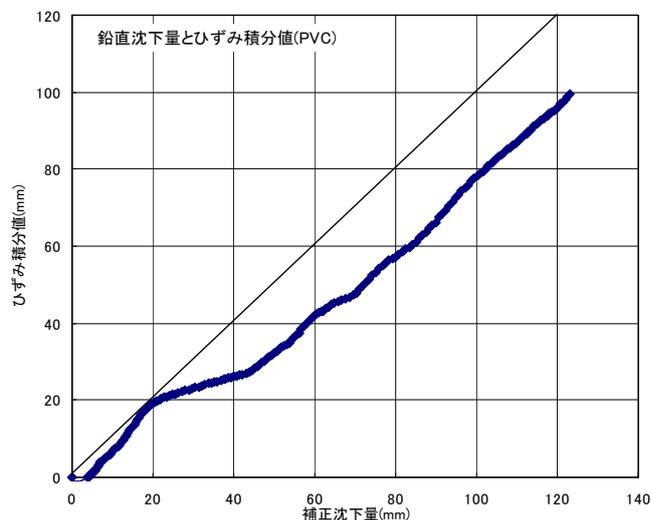


図8 鉛直沈下量と軸ひずみの積分値(PVC)

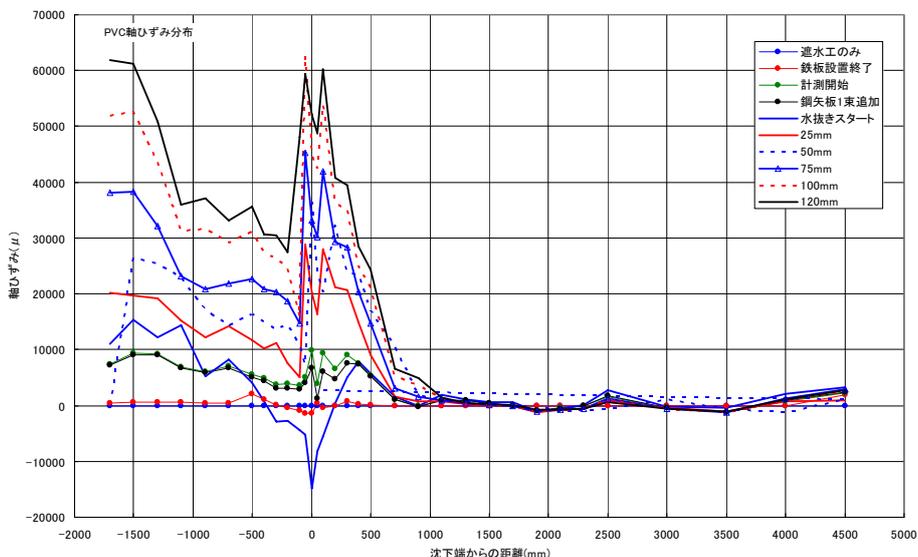


図9 軸ひずみの分布(PVC)

6. 現状設計手法の課題

近年の海面最終処分場における遮水工に関する構造計算は、弾塑性有限要素法解析が主流となっている。この方法は、埋立地の地盤を線形弾性体または線形弾塑性体と仮定して地盤の変形量を FEM により計算するものである。遮水シートのひずみ量は、地盤の変形量と等しく、ある要素間内で遮水シートは均一にひずむと仮定している。この要素間距離は、沈下の境界付近はより短く設定されているが、事例では 5m 程度である。

今回の実験結果では遮水シートが均一にひずむことはないとの結果を得ており、かつ、遮水シートが大きくひずみを生じる範囲は、斜面先から 50cm 程度の範囲である。すなわち、表 2 に示すように、

遮水シートの最大ひずみ量を過小に評価している可能性が高い。実際に生じるひずみは7m 区間を平均して算出したひずみに比べて 4~5 倍程度大きいことがわかる。

したがって、FEM の要素間距離が数 m 単位である場合、遮水シートが要素間で均一にひずむと仮定することは危険である。

7. 今後の課題

今回の実験で、底盤部の長さ5m の土槽を用いて、水面埋立地のような底部地盤全体が大規模に沈下する場合を模擬して、遮水シートに生じるひずみの測定を行ったが、実験上の課題として、下記の事項が挙げられる。

- ① 積載荷重の増加 (今回 18kN/m², 廃棄物高 5m 程度)
 - ・水深 10m 以上荷重積載時の遮水シートの挙動
 - ・荷重変化によるひずみの伝播状況の変化把握
- ② 沈下量の増加
 - ・不同沈下により予定沈下量 300mm を実現できず。

③ LLDPE は、固定工の強度増加ならびにロードセルの許容荷重増加を図った上で再実験

また、既往の研究事例から適用性が高いと考えられる下記の解析モデルと実験結果の適合性を評価し、遮水シートに生じるひずみを精度よく予測できるモデルを検討する必要がある。

- ① ジョイント要素を取り入れた二次元ひずみ弾塑性 FEM 解析
- ② 弾塑性解析モデルと線形・非線形弾性法の組み合わせ
- ③ 簡易な手法として台形荷重による圧密計算と線形・非線形弾性法の組み合わせ

おわりに

本研究に助成いただいた大阪湾広域臨海環境整備センター殿に謝意を表します。また、実験とデータ整理等に協力いただいた鈴木麻美氏(宇都宮大学)に謝意を表します。

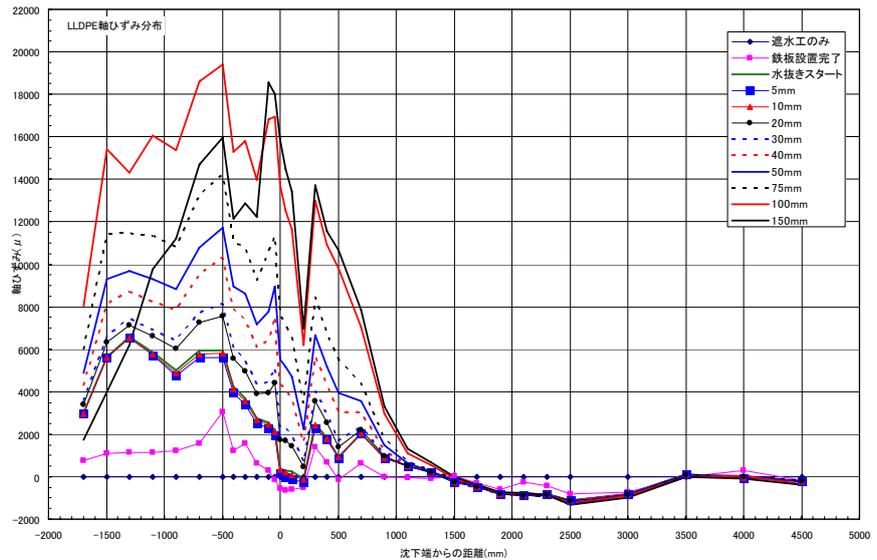


図10 軸ひずみの分布(LLDPE)

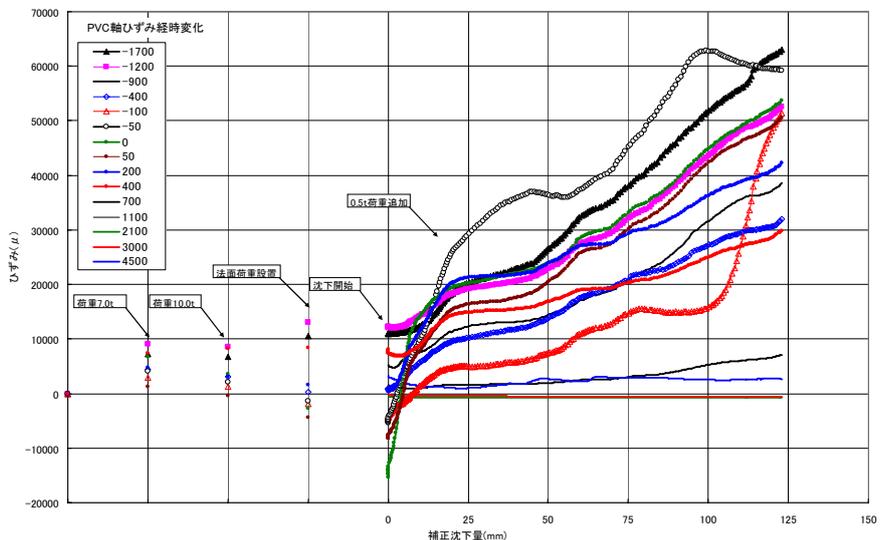


図11 鉛直沈下量と軸ひずみの経時変化(PVC)

表2 実験結果による最大ひずみと平均ひずみの比較

沈下量	50mm		100mm	
	LLDPE*1	PVC	LLDPE*1	PVC
最大ひずみ	10,000	36,000	>15,000	62,000
平均ひずみ*2	7,000		14,000	
最大/平均	1.43	5.14	>1.07	4.43

*1: LLDPE は、固定工の変形により遮水シートの引きずり込みが生じた。

*2: 平均ひずみは、沈下量/7.0m で算出した値

**「食品廃棄物由来デンプン質の生デンプン酵素を用いた
省エネルギー型糖化と連続式エタノール発酵」
(研究課題番号 200005)**

○高井 雄一郎 (大阪府環境農林水産総合研究所 食の安全研究部)
上田 光宏 (公立大学法人大阪府立大学大学院 生命環境科学研究科)

1. 調査研究目的

食品リサイクル法により定められた食品廃棄物減量化の数値目標を達成するには、既存の技術、社会システムの改善に加えて、リサイクルに関する新たな技術開発が必要である。農林水産省「米麦加工食品生産動態等統計調査」によると、大阪府の生めん類生産量は年間約 18,000t にのぼり、兵庫、京都等大阪湾水域全体で約 70,000t になる。生めん類は出荷調整用として、需要の 5% 程度多く製造し、需要がない場合は処理業者に委託して、廃棄めんとして焼却処分されている。生めん類の主成分は、生物利用性が高いデンプンであり、十分に資源価値があるのに廃棄されている現状を改善する必要がある。

そこで、我々は、バイオ燃料技術革新計画の重要な課題にも挙げられている「食糧と競合しない、廃棄物バイオマスを有効利用したバイオ燃料生産」のひとつとして、廃棄された生めん類(以下廃棄めんとする。)をターゲットとし、廃棄めんをエタノール生産の原材料として有効利用する技術を開発する。

デンプン系バイオマスをエタノール発酵に利用する際の問題点として、デンプンの α 化に蒸煮が必要で、エネルギーコストが高いことが上げられる。そこで、本課題では、大阪府立大学大学院上田准教授の協力により、ミミズ由来の生デンプン分解酵素を応用する。生デンプン分解酵素は比較的低温でデンプンを液化させるため、 α デキストリンから効率よくグルコースを切り出すグルコアミラーゼと併用することにより、糖化の省エネルギー化、ならびに、低コスト化を図ることができる。

次に、エタノール発酵では生産性を高めるには、連続発酵が好ましいが、高濃度で菌体を保持するための菌体の固定化が必要となる。酵母の数倍の発酵速度を持つ一方で、自己凝集性が無い *Zymomonas mobilis* NBRC13756 を用いるために、アルギン酸ゲル固定化法を検討し、最適な発酵条件を明らかにする。

以上のように、本研究では、生デンプン分解酵素を用いた廃棄めんの低コスト糖化技術と固定化した *Z. mobilis* NBRC13756 を用いた連続エタノール生産技術を融合した、食品廃棄物のリサイクル技術の開発を目的とする。

氏名 高井 雄一郎

住所 〒583-0862 大阪府羽曳野市尺度 442 大阪府環境農林水産総合研究所

電話 0729-58-6551 FAX 0729-56-9691

E-Mail takai@mbox.epcc.pref.osaka.jp

キーワード

エタノール発酵、廃棄めん、生デンプン分解酵素、ザイモモナス、アルギン酸ゲル固定化

2. 調査研究方法

2-1 生デンプン分解酵素による可溶性デンプン分解に関する基礎的検討

生デンプン分解酵素はシマミミズ (*Eisenia foetida*) から、50 mM MOPS buffer (pH 7.0) 抽出したものを試験に用いた。液化・糖化後の還元糖末端量は、ソモギ-ネルソン法に従った。

2-2 生デンプン分解酵素とグルコアミラーゼを併用した廃棄めん液化・糖化

市販の生めん類をホモジナイズした懸濁液に生デンプン分解酵素液を添加した後、 α -グルコシダーゼを追加添加し、25°Cで液化・糖化させる試験を行った。既存の酵素として α -グルコシダーゼ (*Aspergillus* 属由来、アマノエンザイム) を用いた。

2-3 *Z. mobilis* NBRC13756 の固定化および固定化菌体によるエタノール発酵

アルギン酸カルシウムゲルに包埋した *Z. mobilis* NBRC13756 を固定化菌体として用いた。発酵の基礎的試験として、温度、基質濃度、窒素源の添加について検討した。

2-4 *Z. mobilis* NBRC13756 の固定化菌体による廃棄めん糖化液のエタノール発酵

連続式簡易リアクタとして、固定化菌体をガラス管内に充填した。このリアクタ内に基質溶液を定速ポンプで送液し、連続発酵試験を行った。

3. 結果と考察

3-1 生デンプン分解酵素による可溶性デンプン分解に関する基礎的検討

ミミズから抽出した生デンプン分解酵素の温度に関係する基礎的検討を行った結果、20°Cという比較的低温下でも、50°Cの活性に対して48%の活性を残しており、酵素反応に熱源を必要としない、エネルギー消費を抑えた糖化反応が可能であることが示された。また、50°C以下では、24時間、活性が持続することが示された。

Table 1 反応温度が生デンプン分解酵素活性に与える影響

温度	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	80°C
50°Cの活性に対する比率(%)*	26	48	75	82	100	45	5
24時間後の活性残存率(%)**	90	92	95	100	83	14	0

* : pH5.5、30分後の活性をもとに計算した。

** : pH8.0のTris-HCl中で24時間反応させ、30分後の活性に対する百分率を計算した。

3-2 生デンプン分解酵素とグルコアミラーゼを併用した廃棄めん液化・糖化

ミミズ由来の生デンプン分解酵素によって、10%の廃棄めん懸濁液を24時間で完全に糖化することができた (Fig.1)。このときの反応温度は25℃で、比較的、熱源を必要とせずに糖化を行うことができることが示された。しかし、廃棄めん懸濁液の濃度を高くすると、加水分解効率が低下した。

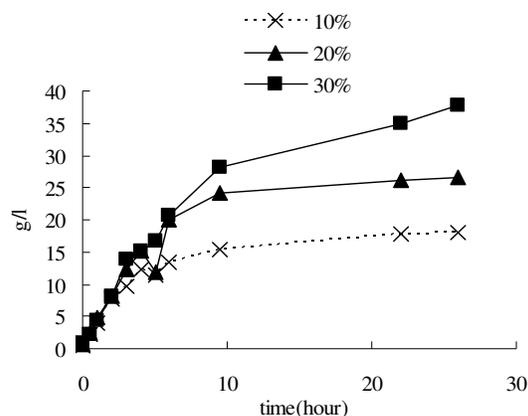


Fig. 1 廃棄めんの液化・糖化に関する基質濃度の影響

3-3 *Z. mobilis* NBRC13756 の固定化および固定化菌体によるエタノール発酵

Z. mobilis NBRC13756 をアルギン酸カルシウムで固定化したゲルを用いてグルコースをエタノール発酵試験を行った結果、5~10%が適切な基質濃度であることが示された (Table 1)。また、10℃では、発酵速度、効率ともに低下したため、日本の冬季には、若干の加温が必要であるものと考えられた。

Table 1 *Z. mobilis* NBRC13756 のエタノール発酵に与える窒素源欠乏の影響

基質濃度(%)	5	5	10	10	20	20
0.5%Yeast Extract	-	+	-	+	-	+
グルコース消費量(%)	0.62	4.99	1.05	9.94	2.47	18.5
グルコース消費率(%)	12	100	10	99	12	92
エタノール生産量(%)	0.22	2.91	0.07	5.42	0.05	6.64
エタノール生産効率(%)	55	90	10	84	3	55

培養開始から24時間後の残存グルコース濃度、エタノール生産量から計算した。

3-4 *Z. mobilis* NBRC13756 の固定化菌体による廃棄めん糖化液のエタノール発酵

Z. mobilis NBRC13756 固定化ゲルで廃棄めん糖化液を連続エタノール発酵させる場合、滞留時間10時間までは、滞留時間を長くするほど、発酵効率が高くなることが示された。しかし、滞留時間20時間では、雑菌の繁殖が認められたため、適正な滞留時間で、基質溶液を更新していく必要があることが示された。また、Yeast Extract を添加しない試験区でも、良好な発酵効率を得られたため、窒素源の添加が必要ないことが示された (Table 2)。

Table 2 *Z. mobilis* NBRC13756 の廃棄めんからのエタノール発酵に及ぼす窒素源の影響

Yeast Extract	-	+
グルコース消費量(%)	2.02	2.15
グルコース消費率(%)	97	100
エタノール生産量(%)	1.21	1.26
エタノール生産効率(%)	92	91

Yeast Extract は 0.5% で添加した。

3-5 廃棄めんをバイオマスエタノールの原料として用いる場合の生産性についての検討

大阪湾水域全体で廃棄めん由来のバイオマスエタノールが年間 1697k ℓ 生産可能であることが推測された。本研究で開発した手法を実用化するには、生デンプン分解酵素のコスト削減技術や、アルギン酸カルシウムゲルの長期運転時の耐用時間についての検討等の調査が必要であるものと考えられた。

4. 結論

生めん類の供給量に需要量が満たなかった場合に廃棄される廃棄めんは、主成分がデンプンであり、有用な未利用のバイオマスとして位置づけられる。この廃棄めんをバイオマスエタノールの原料として用いるために、ミミズ由来の酵素を用いた糖化技術と *Z. mobilis* NBRC13756 固定化ゲルを用いたエタノール発酵技術について、基礎的な検討を行い、廃棄めんから効率良くバイオマスエタノールを生産できることを本研究で明らかにした。

ミミズから抽出した生デンプン分解酵素と市販のグルコアミラーゼを用いて、25℃という比較的低温条件でも、24 時間で廃棄めん中のデンプンをグルコースに分解できることを明らかにした。このことにより、従来のデンプン糖化に必要なだった煮沸工程のエネルギー消費とコストを削減することができる可能性が示された。

Z. mobilis NBRC13756 をアルギン酸カルシウムゲルを用いて固定化したリアクタを用いた連続発酵において、基質濃度を 5~10%、滞留時間 10 時間の条件下で効率よくグルコースからエタノールを生産することを明らかにした。さらに、廃棄めんをエタノール発酵の基質として用いることで、窒素源の添加が不要であることが示された。

以上の結果から、廃棄めん糖化液がエネルギー消費とコストを削減した廃棄めんからバイオマスエタノールへの変換の基礎的技術を確立した。

海面埋立廃棄物処分場酸化池における硝化活性阻害克服の検討

○西尾 孝之（大阪市立環境科学研究所）

目的

廃棄物最終処分場における浸透水の窒素濃度が高く、排水処理に苦慮する事例が多い。かつて大阪市の海面埋立型廃棄物処分場酸化池内水に高濃度の窒素が蓄積した際の窒素は、大部分がアンモニウム態または亜硝酸態であり硝化反応が不完全であると考えられた。生物学的に排水処理を行うためには、窒素処理工程の律速段階となりがちな硝化反応の活性を高める必要がある。そこで、酸化池内水における硝化活性の阻害要因を調べて緩和する方法を検討すると共に、硝化活性を促進するための条件検討を行った。

昨年度の本研究では、現在運用中の処分場排水処理施設硝化槽のひも状接触材を用いて、1) ひも状接触材に付着している微生物膜は、内水中の懸濁物質に比べて単位重量当たりの硝化活性が約 20 倍高いこと、2) 培養温度により硝化活性の至適アンモニウムイオン濃度が異なること、3) 比較的高濃度のリン酸添加によりアンモニア酸化活性が向上することなどを確認した。

しかしながら、実験に用いるひも状接触材は過剰のリンを蓄積しているために、リン酸添加による硝化活性促進効果や硝化阻害緩和効果を十分確認することが出来なかった。そこで本年度は、ひも状接触材付着微生物膜をリン酸欠乏培地により馴養してアンモニアによる硝化活性阻害の程度を調べることにより、リン酸添加による硝化促進効果を確認すると共に高濃度アンモニアに対する馴養の可能性について検討を行った。

実験方法

海面埋立型廃棄物処分場排水処理施設の硝化槽に設置されたひも状接触材を回収し、小型曝気槽を用いた室内実験を行った。ひも状接触材をリン酸欠乏培地で培養し、経時的にひも状接触材付着微生物膜による硝化活性のアンモニウムイオンに対する濃度依存性を調べることにより、リン酸添加の有無が硝化活性に及ぼす影響を調べた。また、リン酸を 10 μM 添加した培地中アンモニウムイオン濃度を 2 mM から 8 mM まで徐々に高くして培養を行い、経時的にひも状接触材付着微生物膜の高濃度アンモニウムイオンによる硝化活性阻害を調べ、高濃度アンモニウムイオンに対する馴養の可能性を検討した。水温の低下により高濃度アンモニウムイオンによる硝化活性阻害の程度が顕著になることが昨年度の研究で明らかになったことから、硝化活性が低くなりすぎない程度の低水温 (17 $^{\circ}\text{C}$) で実験を行った。

馴養実験終了後、リン酸欠乏および高濃度アンモニウムイオンに対する馴養を行ったひも状接触材付着微生物膜から DNA を抽出し、アンモニア酸化細菌のアンモニア酸化酵素 (*amoA*) 遺伝子の一部を PCR 増幅した。PCR 増幅産物を 3 種類の制限酵素により消化処理を行い RFLP (制限酵素断片長多型) 解析を行った。リン酸欠乏および高濃度アンモニウムイオンという環境ストレスに対する硝化活性の変化が生理状態の順応によるものか細菌相の変化によるものであるかを確認した。

連絡先: 西尾孝之 E-mail: ta-nishio@city.osaka.lg.jp phone: 06-6771-3327
住所: 〒543-0026 大阪市天王寺区東上町 8-34 大阪市立環境科学研究所
keywords: 海面埋立廃棄物処分場, リン酸欠乏, 硝化活性阻害, 亜硝酸蓄積, ひも状接触材

調査結果と考察

馴養実験

ひも状接触材付着微生物膜にはリンが蓄積されているが、長期間リン酸欠乏培地で培養することで蓄積したリン酸を徐々に消費した結果、以下のようなリン酸欠乏に伴う硝化活性阻害が明らかとなった。

1. アンモニア酸化活性の至適アンモニウムイオン濃度は、リン酸欠乏培地による培養実験開始直後に 10 mM であったものが 12 週間後には 1 mM 程度まで徐々に低くなり、より低濃度で阻害が起こるようになった(図1上)。
2. 亜硝酸酸化活性の至適アンモニウムイオン濃度も同様の経過をたどったが、高濃度のアンモニウムイオン存在下の基質阻害の程度はアンモニア酸化活性よりも大きくなった(図1下)。

一方、リン酸添加条件下の高濃度アンモニウムイオンに対する馴養実験では、以下の点が明らかとなった。

3. リン酸添加により高濃度アンモニウムイオンに対する馴養が可能である(図2上)。
4. しかし、高濃度アンモニウムイオンの存在による亜硝酸酸化活性阻害を緩和する効果はアンモニア酸化活性ほど顕著ではない(図2.下)。

その結果、アンモニウムイオン濃度が一定以上高くなると、亜硝酸イオンの蓄積を招き、硝化活性が加速的に阻害されると考えられた。このことは、1 mM NO_2^- 存在下では NH_4^+ 濃度の増加と共に亜硝酸酸化活性が阻害されること(図3上段)、20 mM NH_4^+ 存在下で亜硝酸イオン濃度増加させると 0.5 mM 以上では亜硝酸酸化活性が阻害されること(図3下段)

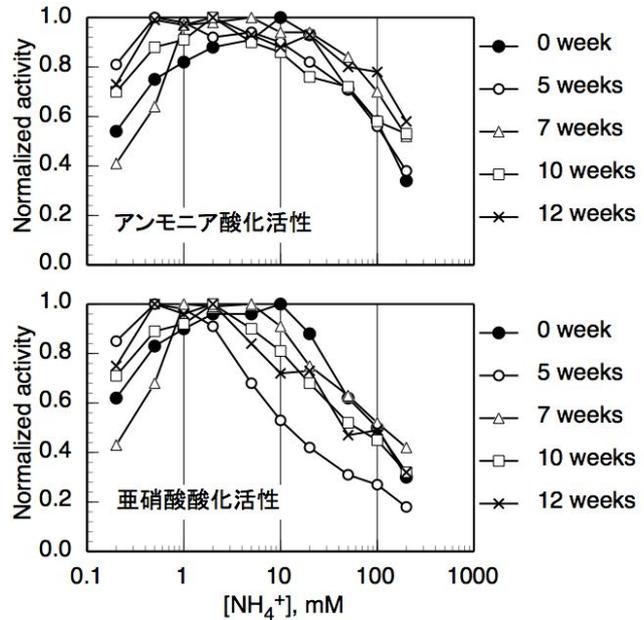


図1 リン酸欠乏に伴う硝化活性の至適アンモニウムイオン濃度の変化

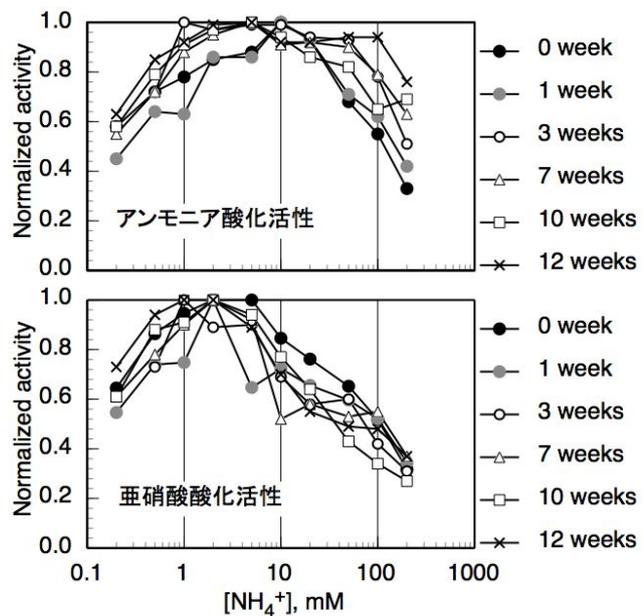


図2 高濃度アンモニウムイオン馴養に伴う硝化活性の至適アンモニウムイオン濃度の変化

からも確かめられた。

また、酸化池内水や浸透水を用いた実験で、即時的な硝化活性阻害は生じなかったことから、処分場酸化池内水に亜硝酸イオンが蓄積する現象は、浸出水に含まれる微量有機化学物質などよりも、高濃度アンモニアおよびアンモニア酸化活性により生じた亜硝酸イオンが共存することによる亜硝酸酸化活性阻害の正のフィードバックに因るものと考えられた。

RFLP 解析

馴養実験終了後、リン酸欠乏および高濃度アンモニウムイオンに対する馴養を行った付着微生物膜から DNA を抽出し、アンモニア酸化酵素 (*amoA*) 遺伝子の一部を PCR 増幅して RFLP (制限酵素断片長多型) 解析を行い酸化池内水懸濁物質および、馴養実験開始前のひも状接触材付着微生物膜の結果と比較した。酸化池内水懸濁物質に検出される *amoA* クロームは比較的多様であり、第1優占クローム (aad) が約 37 %であったのに対して、培養初期のひも状接触材から検出された *amoA* クロームの組成は単調であり、内水懸濁物質の第1優占クローム (aad) が約 98 %を占めた(図4)。このクロームは浮遊よりも付着状態を好むと考えられる。リン酸欠乏培地で馴養したひも状接触材付着微生物膜の *amoA* クローム組成も初期ひも状接触材付着微生物膜の *amoA* クローム組成と類似しており、リン酸添加の有無によるアンモニア酸化細菌の種組成の変化は殆どないと考えられた。一方、高濃度のアンモニウムイオン含有培地に馴養したひも状接触材付着微生物膜の第1優占クローム (baa) は、内水懸濁物質や初期ひも状接触材付着微生物膜では非常に存在比率が低かったことから、高濃度アンモニウムイオンに

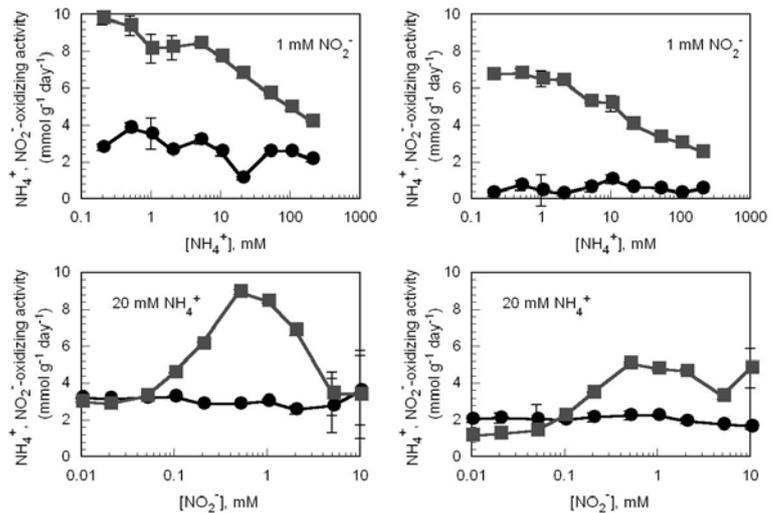


図3 高濃度アンモニウムイオンおよび亜硝酸イオンによる硝化阻害

●: アンモニア酸化活性, ■: 亜硝酸酸化活性
 上段: $[\text{NO}_2^-] = 1 \text{ mM const.}, [\text{NH}_4^+] = 0.2\text{--}200 \text{ mM};$
 下段: $[\text{NH}_4^+] = 20 \text{ mM const.}, [\text{NO}_2^-] = 0.01\text{--}10 \text{ mM}$
 左列: リン酸欠乏培地に馴養したひも状接触材
 右列: 高濃度アンモニウム培地に馴養したひも状接触材

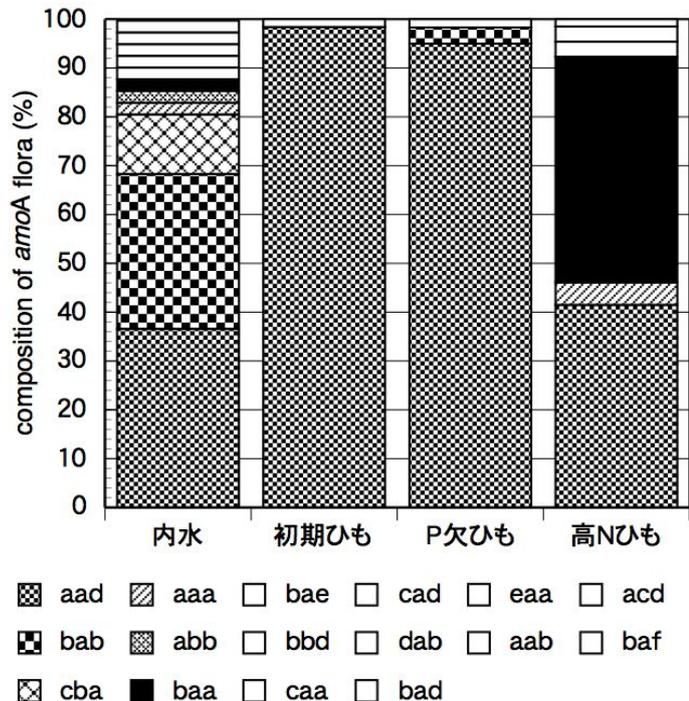


図4 制限酵素断片長解析による *amoA* クロームの存在比率

耐性が高い種が増殖した結果、ひも状接触材付着微生物膜のアンモニア酸化活性阻害が緩和されたと考えられた。

これらの特徴的なクローンの *amoA* 遺伝子塩基配列情報を解析した結果、いずれのクローンも *Nitrosomonas halophilla* や *Nm. eutropha* など高塩分または高アンモニウム濃度に対して耐性のあるアンモニア酸化細菌が分類される Cluster7 に近縁であると考えられた(図5)。

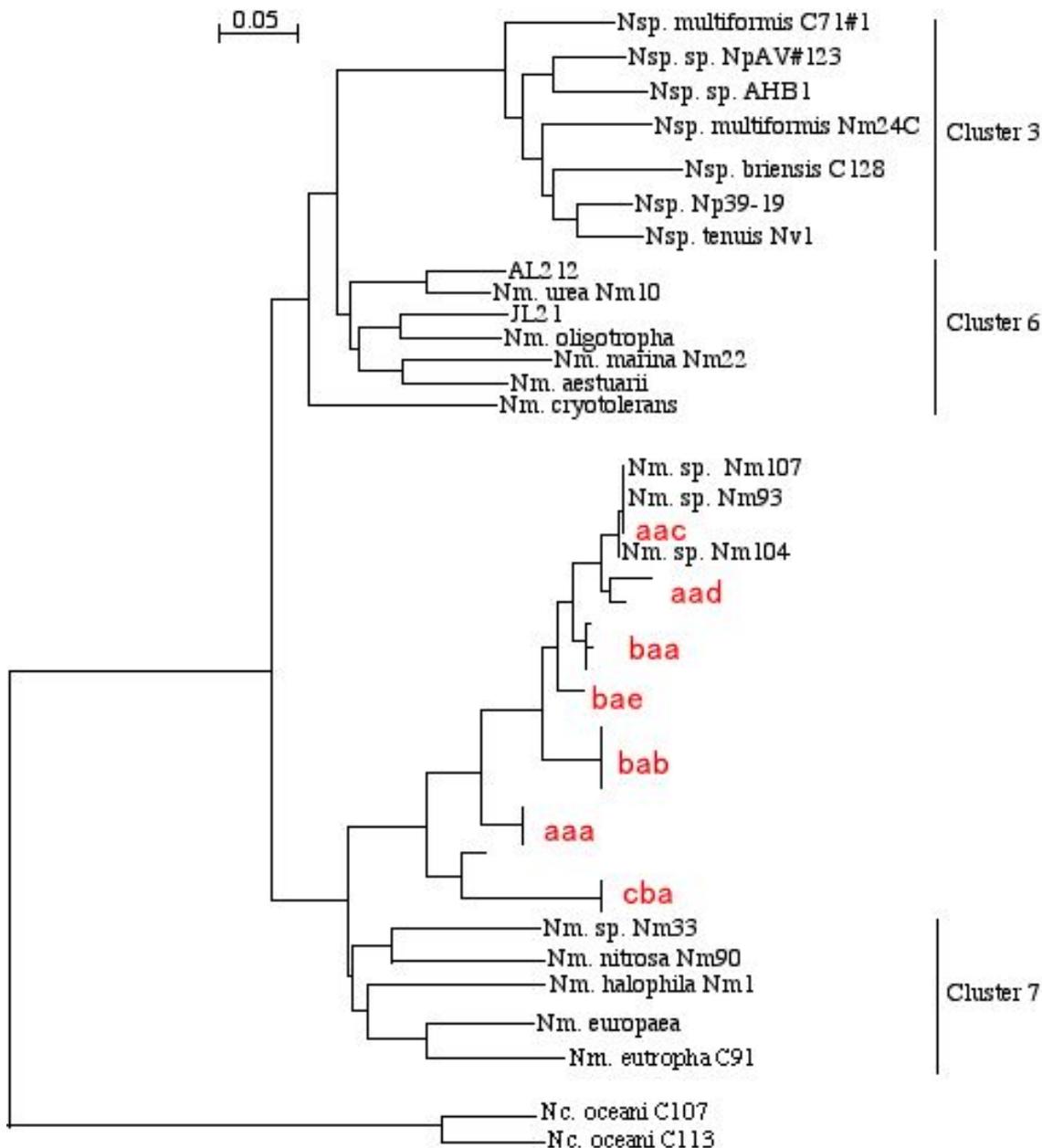


図5 *amoA* 遺伝子部分塩基配列に基づくアンモニア酸化細菌と PCR 産物クローンの系統樹

γ プロテオバクテリアに属する *Nitrosococcus* 属の *amoA* を outgroup とした。

酸化池内水由来 *amoA* 遺伝子クローンの制限酵素切断パターンを赤字で記した。

大阪湾流域における生活排水由来の海域に流入する 1 人あたり汚濁負荷量 (PLC_{wb}) と生活排水の環境家計簿に関する研究

○都筑良明 (元東洋大学, 現島根大学汽水域研究センター協力研究員)

1. はじめに

国連を中心とするミレニアム開発目標(MDG)、持続可能な開発に関する世界首脳会議(WSSD)等のプログラムでは、安全な飲み水、適切な生活排水処理施設を利用できない人口を削減することが急務とされている。水環境分野の途上国援助の効率性を考えると、日本の生活排水の処理効率や汚濁負荷削減についての関係者(行政、企業、市民、漁業者、研究者等)の成果について考察することが重要である。本研究は、大阪湾流入河川流域を対象に、(1)1人あたり汚濁負荷排出量(PDC, 排出原単位)、水域に流入する1人あたり汚濁負荷量(PLC_{wb})の算定方法を改善し、生活排水の環境家計簿(例えば、都筑、2005a,b; Tsuzuki, 2006)を作成すること、(2)対象流域の生活排水処理に関する特性把握と改善へ向けての提案を行なうこと、を目的とする。さらに、途上国であるタイ、バングラデシュについては、家庭における水利用、生活スタイルなどの特徴に応じた検討を行う。

2. 方法

本研究では、大阪湾流入河川のうち、大和川流域を調査対象流域とし、汚濁負荷排出量および河川水質・水量関連データの収集、PLC_{wb}の算定、生活排水の環境家計簿の作成を行った。必要なデータとして、公共用水域の水質・水量データ、下水道、集落排水処理施設、浄化槽等の生活排水処理施設の処理率、処理種類ごとの人口等の既存データを収集、整理した。汚濁負荷解析に関しては、これまでの他の流域等で行った生活排水の環境家計簿に関する検討結果(例えば、都筑、2005a,b; Tsuzuki, 2006)を活用した。

現地調査は、平成20(2008)年11月に大和側流域を対象に実施した。水質記録計(Compact-CTD)および簡易水質測定キット(パックテスト等)による水質測定および電磁流速計(東京計測、SF-5621)による流量測定を行なった。

途上国については、平成20(2008)年12月にバンコク(タイ)、平成21(2009)年1月にダッカ(バングラデシュ)で現地調査および資料収集を行った。

大和川は奈良県を源流とし、大阪湾に流入している河川である。奈良県、大阪府を流域とし、全長68 km、流域面積1,070 km²の一級河川で、流域人口は200万人を超えている(図1)。国土交通省の大和川河川事務所を中心に、2005年に生活排水の汚濁負荷排出量削減をテーマとする社会実験が開始された(表1)。(1)食事は食べる分量だけ作り、残らないようにする、(2)食べ残しや残りクズは流さず、三角コーナーかゴミ箱へ、(3)食器やフライパンなどの汚れは拭き取ってから洗う、の3つの方法を主な取り組みとして呼び掛け、家庭でできる汚濁負荷排出量削減対策の普及促進と、河川水質改善に関する効果を実測により検証するという試みである。

3. 結果と考察

これまで、家庭でできるソフトな対策により、雑排水分の汚濁負荷排出量削減が可能であると仮

代表連絡者氏名：都筑良明、連絡先電話番号：0480-58-7892 (自宅)、E-Mail: tsuzuki.yoshiaki@gmail.com

キーワード：大和川生活排水社会実験、生活排水の環境家計簿、1人あたり汚濁負荷排出量(PDC, 排出原単位)、水域に流入する1人あたり汚濁負荷量(PLC_{wb})、日本・タイ・バングラデシュの比較検討

定した場合に、大和川下流の遠里小野橋で BOD 濃度を約 40% 低下させることが可能であると算定されていた(米田ら, 2006)。本研究においては、生活排水の環境家計簿(都筑, 2005a,b; Tsuzuki, 2006)の考え方を活用することにより、家庭でのソフトな対策を組み合わせることによる雑排水分の汚濁負荷排出量の削減量は、4~5 割程度であると算定された。上記の計算結果を活用すると、この汚濁負荷排出量の削減により、河口付近の遠里小野橋の BOD 濃度は約 2 割低下すると算定された。

本研究においては、大和川流域の単独処理浄化槽世帯を対象とする生活排水の環境家計簿を作成した(表 2)。生活排水の環境家計簿により、家庭での汚濁負荷排出量削減対策の 1 人あたり、1 世帯あたりの効果を算定することが可能である。

社会実験のアンケート調査の結果によると、大和川流域、特にモデル地区では、既に多くの家庭で汚濁負荷排出量削減対策を導入、実施している。この社会実験で呼びかけを行っている対策は、約 10 年前から、地方公共団体、環境 NGO 等で呼びかけられてきた水質改善を目的とする試みの内容と方向性としては同じであるが、家庭における対策を 3 点に絞った点が特徴的であると言える。このことから、多くの家庭で汚濁負荷排出量削減を目的とする対策を実施し

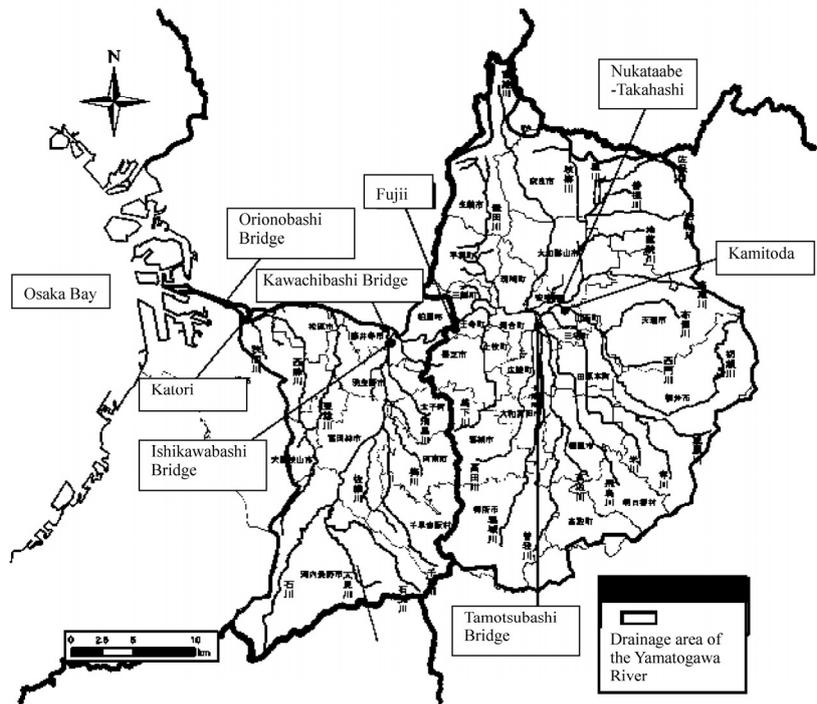


図 1 生活排水社会実験が実施されている大和川流域と大和川
の主な観測地点(基図:大和川河川事務所)

表 1 生活排水社会実験の概要(大和川河川事務所を基に作成)

回数	年月日	特徴	アンケート調査による参加率	主な成果
第1回	平成17(2005)年 3月6日(日)	・全国初の生活排水対策の 社会実験	15% 配布1,000世帯 回収290世帯(29%)	・本川8地点平均のBODが若干 改善した。 ・支川44地点の平均は変化が少 なく、モデル地域3か所では2か 所で改善した。
第2回	平成18(2006)年 2月19日(日)	・メディア(奈良新聞社、ラ ジオ大阪、サンケイリビング 等)による広報 ・流域住民による採水、簡 易水質分析	10% 配布3,000世帯 回収586世帯(20%) 回答世帯の前回の 参加率は5%	・全50地点のうち、降雨の影響が なかった39地点の平均BODは 7.1 mg l ⁻¹ から6.0 mg l ⁻¹ に改善。 ・下水道の普及率、接続率が低 い地域では改善の効果が大き かった。
第3回	平成18(2006)年 7月28日(金)~ 30日(日)	・水質が比較的良好な夏季 に実施 ・3日間に延長 ・事前調査時の本川BOD 平均値が1.7 mg l ⁻¹ と環境 基準告示(昭和45年)以降 の最小値(443回の測定回 数中)	5.4% 配布3,000世帯 回収523世帯(17%)	・全44地点の平均BODは2.7 mg l ⁻¹ から3.7 mg l ⁻¹ に上昇した。 ・本川8地点の平均BODは1.7 mg l ⁻¹ から2.7 mg l ⁻¹ (環境基準告示 以降、第4位に相当)に上昇し た。 ・夏期は水質が良い傾向にあり、 事前調査では前日までの降雨の 影響が見込まれた。
第4回	平成19(2007)年 2月17日(土)~ 23日(金)	・民間企業の応援が前回の 26社から36者に増加 ・3小流域をモデル地区とし て選定 ・Cプロジェクト計画2006の 一環として実施	9.0% 配布3,000世帯 回収567世帯(19%)	・全16地点の平均BODは8.3 mg l ⁻¹ から6.3 mg l ⁻¹ に改善した。 ・モデル地区では、竜田川地区 で43 mg l ⁻¹ が38 mg l ⁻¹ に、信貴 川地区で45 mg l ⁻¹ が29 mg l ⁻¹ に改善し、今井戸川地区では23 mg l ⁻¹ が35 mg l ⁻¹ に上昇した。
第5回	平成20(2008)年 3月16日(土)~ 22日(金)	・参加者が増加	19%	・約41万人(アンケート調査結果 より:参加率約19%)が参加し、汚 濁負荷量は9 地点 の内7 地点で低下した。
第6回	平成21(2009)年 2月14日(土)~ 20日(金)	・全体の参加者は横ばいだが、 モデル地区の参加者が 増加	18.9% 6モデル地区では60 ~80%と前回より増 加した。	・約41万人(アンケート調査結果 より:参加率約18.9%)が参加し、 汚濁負荷量は16 地点の内12 地 点で低下した。

表2 大和川流域の単独浄化槽人口を対象とする生活排水の環境家計簿

単独処理浄化槽	負荷割合 %	海域への負荷量			今日の削減量			今月の削減量			備考
		COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P	COD	T-N	T-P	
		mg	mg	mg	mg	mg	mg	g	g	g	
し尿	30	1,600	1,200	130							
風呂	20	1,000	780	90							
石鹸・シャンプーの量を半分に減らす		310	0	0	310	0	0	9.3	0.0	0.0	削減効果を風呂の負荷全体の30%とする
台所	40	2,100	1,600	170							
洗剤を使わない		450	0	0							1日5ml/人(COD約2g/人相当)使用していたとする
洗剤の量を減らす		230	0	0							洗剤の使用量を半分にする
米のとぎ汁を流さない		450	10	0							とぎ汁をCOD2g, T-N24mg, T-P2mg/人相当とする
台所用紙を使う		150	330	10	150	330	10	4.5	9.9	0.3	除去率を、7(COD), 21(T-N), 4(T-P)%とする
台所用網を使う		60	230	0							除去率を、3(COD), 15(T-N), 2(T-P)%とする
料理、食後の処理を行う		1,000	780	90							処理による削減効果を50%とする
残り物(液体)を流さない											
ドレッシング5ml		750	10	10							
ラーメンの汁50ml		290	10	3							
古い食用油10ml		3,800	80	0							
洗濯等	10	520	390	40							
洗剤の量を減らす		290	0	0							1日5g/人(COD約1.3g/人相当)削減すると仮定
合計	100	5,200	3,900	430	4,740	3,570	420	128.4	97.2	12.3	負荷割合は環境省(2002)のBOD負荷割合を用いた
削減量					460	330	10	13.8	9.9	0.3	
4人家族の削減量					1,840	1,320	40	55.2	39.6	1.2	

ているのは、従来からの自治体等を中心とする呼びかけの成果であると同時に、社会実験により流域スケールで多様な方法で呼びかけを行ってきた成果であると考えられる。

大和川流域には様々な河川があり、流域の環境も様々である。流域、地域、河川の特徴により、活用方法や水質目標を設定することが望ましいと考えられる。

多くの河川では、上流から下流に向けて水質汚濁が進行している。大和川の特徴として、上流から中流に比べて、河口付近の水質が比較的良好であるということが挙げられる。これは、下流域において、水深が比較的浅いという特徴があるために河川における水質浄化機能が大きく、浄化施設の設置等も併せて、自然浄化が大きく機能していると考えられる。

下流部の阪堺大橋、大和川大橋付近では、調査時にも魚の群れが見られた。大和川はその支流がワースト河川にランク入りしているが、このように自然浄化機能が大きいことについても積極的に情報提供していくことが望ましいと考えられた。大和川流域では、生活排水の社会実験も含めたCプロジェクトが進行中である。現代社会の日本人にとって、普段の生活は水環境から分断されていることが多い、流域レベルのこのようなプロジェクトは、水環境に回帰する機会として重要である。汚濁負荷排出量と水質との相互関係についても情報提供していくことが望ましく、本研究の成果もその一部となると考えている。

表3 バンコク都市域 (BMA) を対象とする生活排水の環境家計簿

Pollutant sources from households	Interventions	Water quantity	BOD concentration	BOD discharge	BOD discharge	BOD discharge
		l person ⁻¹ day ⁻¹	g m ⁻³ (mg l ⁻¹)	g person ⁻¹ day ⁻¹	g person ⁻¹ day ⁻¹	g person ⁻¹ day ⁻¹
Toilet ³⁾				0.15		
Bath: Bowl		68	120	8.16		
Shampoo and soap		—	—		5	
	Reduce shampoo and soap usage amount					3
Kitchen: With screen		4	540	2.16		
Detergent		—	—		0.3	
Residue of food		—	—		0.8	
Residue of liquid		—	—		1	
	Use kitchen net or paper filter					0.1
	Reduce detergent usage amount					0.2
	Stop drain food and water					1.5
Washing clothes:		45	150	6.75		
Detergent		—	—		3	
	Reduce detergent usage amount					2
Total BOD discharge (A)				17.22		
Possible BOD discharge reduction (B)				6.8		
BOD reduction percentage of original BOD discharge (= (B)/(A) × 100 (%))				39.5		

a: Average BOD discharge of one cessapool, two cessapools and package tank.

流域レベルの汚濁負荷排出量と水質、水量との関係等については、GIS 等のアプリケーションを活用することにより、より詳細な検討を行うことが可能となっている。今後の検討課題としたい。

一方、バンコク（タイ）では、家庭での汚濁負荷排出量削減対策により、汚濁負荷排出量を約 4 割削減できると算定された（表 3）。

タイやバングラデシュの市民にとって、国内レベルで地域を超えた交流を行うことは可能であると考えられるが、国際レベルの交流には、経済的な問題も含めた様々な問題もある。国境を超えた、流域を超えた市民が、水質改善、流域改善をテーマにして交流することは、今後の国際社会の安定等にも寄与することができるものであると考えられる。現状では、世界水フォーラム等の国際レベルの会議に NGO 等が参加する機会も増えている。経済大国である日本が主導して、市民等の交流の機会を設けていくことも重要であると考えられる。

4. 結論

大和川流域では、生活排水の環境家計簿の考え方を活用することにより、家庭でのソフトな対策を組み合わせることによる雑排水分の汚濁負荷排出量の削減量は、4～5 割程度であると算定され、河口付近の遠里小野橋の BOD 濃度を約 20%低下させることが可能であると算定された。

大和川流域では、生活排水の社会実験も含めた C プロジェクトが進行中であり、現代社会の日本人にとって、水環境に回帰する機会として重要である。汚濁負荷排出量と水質との相互関係について情報提供していくことが望ましく、本研究の成果もその一部となるものであると考えている。今後の検討課題として、GIS 等のアプリケーションを活用して、流域レベルの汚濁負荷排出量、水質、水量との関係についての検討が挙げられた。

バンコク（タイ）では、家庭での汚濁負荷排出量削減対策により、汚濁負荷排出量を約 4 割削減できると算定された。

途上国における市民参加の枠組みについては、タイでは水環境の改善を目標とするプロジェクトに市民参加の枠組みが導入され、バングラデシュでは全国規模の環境改善プロジェクトにおいて、市民の意見や考え方についてのヒアリングが行われている。途上国も含めて、水域の活用、親水、市民参加等について検討する必要があると考えられた。

参考文献

- 都筑良明（2005a）三番瀬(東京湾)へ流入する排水種類別 1 人あたり水質汚濁負荷量と生活排水の環境家計簿、水環境学会誌、Vol.28, No.1, pp.49-54.
- 都筑良明（2005b）生活排水の環境家計簿、用水と廃水、Vol.47, No.7, pp.539-545.
- Yoshiaki TSUZUKI (2006) An index directly indicates land-based pollutant load contributions of domestic wastewater to the water pollution and its application, Science of the Total Environment, Vol.370, Issue 2-3, pp.425-440, 2006.
- 米田稔・森澤眞輔・徳永亮平（2006）大和川を対象とした住民努力による河川水質改善効果の試算、京都大学衛生工学研究発表会

最終処分場の安心設計を支援するための処分場ガス挙動解析に関する調査研究

○石森洋行¹⁾、遠藤和人¹⁾、椋木俊文²⁾
¹⁾(独)国立環境研究所、²⁾ 熊本大学

1. 調査研究の目的

本研究では、最終処分場から発生する処分場ガスの移動・反応挙動を可視的、かつ定量的に表現するためのシミュレーションモデルを構築し、ガス抜き管、最終覆土の性能評価を行うことで安全・安心を確保できる最終処分場の設計支援を行うための調査研究を実施した。埋め立て物が無機物主体になった今日でも埋立廃棄物層からはメタンや硫化水素といった処分場ガスが少なからず生成されているため、最終処分場の安全性確保、特に跡地利用を考慮する際、処分場ガスを制御することが重要になる。本調査研究では、以下の3点を議論した。

(1) 処分場ガスを制御するために必要な移動と反応を評価可能であり、複雑な処分場構造やガス抜き管の効果を評価するために軸対象でも計算できるような有限要素解析ツールを構築した。(2) 現場透気係数試験の実施、ならびに室内試験によって基本物性を得ることで、構築されるシミュレーションモデルの妥当性を検討した。(3) 最終処分場の覆土の透気係数や構造、ガス抜き管の配置、廃棄物透気係数などの条件が、処分場内部のガス濃度分布および地表面に放出されるフラックスに及ぼす影響をシミュレーションモデルにより整理し、処分場ガス放出抑制のための覆土の構造設計やガス抜き管の配置設計について議論した。

2. 処分場ガス挙動解析と埋立地ガスフラックス計測値を用いた覆土層の透気係数の推定

2.1 はじめに

埋立地等の廃棄物地盤から発生するガス、すなわち埋立地ガスのモニタリングは、埋立地における火災や爆破事故の防止、地球温暖化の緩和、廃棄物の安定化の評価のために重要である。埋立地において廃棄物層で発生したガスはガス抜き井戸や地表面を経由して外部へ放出される。これら放出経路のうち、地表面からのガスフラックスは分布が極めて不均一であり、ある埋立地において限られた測点で代表性のある放出量を求めるには工夫が必要である。廃棄物埋立地では、巨視的には埋め立てられた廃棄物の質や量、微視的には放出経路である覆土層の透気性が不均一であるために、偏った分布を示すと考えられる。そこで、筆者らは後者を原因とした不均一性を解消するために、覆土層をボーリングバー等を用いて穿孔し、埋立地ガス発生源である廃棄物層からの大気への短絡を形成して、チャンバー法で埋立地ガスフラックスを計測し、計測値の空間的な代表性を向上させる手法を検討している。

本発表では、覆土層の性能評価ツールとして処分場ガス挙動解析を応用した研究成果を報告する。覆土層を穿孔する前と、穿孔した後における埋立地ガスフラックス計測値の違いを、覆土層の透気係数と関係付け、覆土層の透気性を原位置で簡便に評価する方法を提案した。処分場ガス挙動解析と現場計測事例をあわせて紹介する。

2.2 埋立地におけるガスフラックスの調査

目的は、覆土層に穿孔した場合のメタンガスフラックスの変化量を調べるとともに、覆土層の透気係数を推定することにある。調査対象は、約800 m x 900 mの敷地内にある最終処分場であり、そのなかでもメタンガス放出が特に顕著であった一画について、本文では議論する。メタンガス放出が顕著である一画（以降、小区画と呼ぶ）について、詳細なメタンフラックスの分布を調べるために、図-1のように80 m x 100 mの小区画を20 mメッシュグリッドを設置しその交点において、閉鎖式チャンバー法により穿孔前後のメタンフラックスを計測した。この結果からメタンフラックスの顕著であった測点の周辺を詳細区画として4 mメッシュグリッドを設置し、同様に交点においてメタンフラックスを計測した。図中の英字は東西方向の測線を、数字は南北方向の測線を表わしている。

調査結果を表-1 および表-2 に整理した。表中には、穿孔前と後でのメタンフラックスとその比、および穿孔後に採取したガスの成分・濃度を示している（穿孔深さは約0.6 mであり、覆土層厚さ0.5 mに対して0.1 m分廃棄物層内に穿孔させた状態でガスを採取していることになる）。調査結果をみると、穿孔前のメタンフラックスに比べて、穿孔後は増加する傾向にあり、穿孔前と後のフラックス比で約10倍、10,000倍ものフラックスの増加が認められた。穿孔前後でのフラックス比は、その値が大きいほど覆土層の透気係数は小さいと示唆される。また、穿孔箇所から採取したガス成分に着目すると、穿孔後のメタンフラックスが著しい箇所（ $F_a > 100 \text{ mol/hr/m}^2$ の箇所）については、メタン濃度は40～60%であり、その他のガス成分として二酸化炭素が30～40%を占めていた。逆に、メタンフラックスの量が小さくなるにつれてメタン濃度は小さくなり、酸素濃度および窒素濃度が大きくなる傾向にあった。

2.3 ガスフラックスに及ぼす覆土透気係数の影響評価

穿孔前後におけるガスフラックスに及ぼす覆土の透気係数の影響を調べるために、メタンガスに着目した物質移動解析を、図-2 に示す軸対象条件

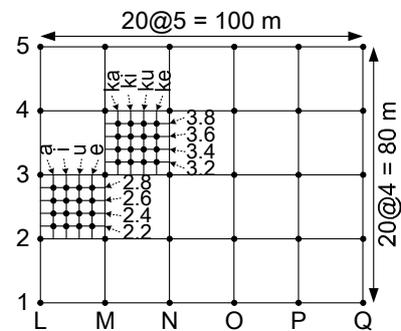


図-1 小区画と詳細区画の概要図

石森洋行

独立行政法人国立環境研究所 循環型社会・廃棄物研究センター 資源化・処理処分技術研究室

〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2

(P) 029-850-2278, (F) 029-850-2016, (Email) ishimori.hiroyuki@nies.go.jp

表-1 小区画の調査結果

測点	メタンフラックス			ガス濃度 (穿孔後測定)			
	穿孔前 F_b	穿孔後 F_a	フラックス比	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂
	[mol/hr/m ²]	[mol/hr/m ²]	F_a/F_b	[%]	[%]	[%]	[%]
L1	1.44 x 10 ⁻²	7.93 x 10 ⁻¹	55	52.5	38.4	0.8	8.5
L2	1.33 x 10 ⁻⁴	4.31 x 10 ⁰	32,326	55.6	41.8	0.7	0.0
L3	4.66 x 10 ⁻³	9.03 x 10 ⁻¹	194	50.0	38.0	1.3	9.5
L4	ND	1.09 x 10 ⁻¹		54.4	40.8	2.1	2.7
L5	ND	ND		0.1	2.2	17.6	80.1
M1	1.84 x 10 ⁻⁴	3.28 x 10 ⁻¹	1,787	43	23.0	2.3	34.0
M2	ND	ND		2.4	1.8	17.6	79.4
M3	ND	2.22 x 10 ⁻¹		34.3	29.2	2.3	34.2
M4	ND	1.58 x 10 ⁰		39.3	35.1	2.6	23.0
M5	ND	1.80 x 10 ⁻²		28.1	25.1	6.1	40.7
N1	-1.92 x 10 ⁻⁴	ND		0.3	2.9	14.3	80.7
N2	ND	2.59 x 10 ⁻¹		46.5	32.8	1.6	18.2
N3	ND	ND		1.1	7.9	10.0	81.0
N4	ND	6.00 x 10 ⁻⁵		30.8	37.8	0.1	35.3
N5	ND	ND		0.1	6.1	14.5	79.3
O1	ND	ND		0.2	2.2	18.5	79.6
O2	ND	ND		1.2	4.2	15.4	79.9
O3	ND	ND		0.1	5.0	12.6	82.3
O4	ND	ND		0.1	2.1	16.8	81.0
O5	ND	ND		0.1	2.3	17.7	79.9
P1	ND	ND		0.2	0.5	19.7	79.5
P2	ND	ND		0.2	0.8	18.3	80.5
P3	ND	ND		0.0	0.2	19.5	80.3
P4	ND	ND		0.2	0.2	19.0	80.5
P5	ND	ND		0.0	0.0	20.3	79.7
Q1	ND	ND		0.2	14.7	2.5	81.1
Q2	ND	ND		0.6	0.5	18.8	80.1
Q3	ND	ND		0.2	2.9	14.4	82.1
Q4	ND	ND		0.3	0.6	18.5	80.5
Q5	ND	ND		0.1	1.8	17.6	80.5

表-2 詳細区画の調査結果

測点	メタンフラックス			ガス濃度 (穿孔後測定)			
	穿孔前 F_b	穿孔後 F_a	フラックス比	CH ₄	CO ₂	O ₂	N ₂
	[mol/hr/m ²]	[mol/hr/m ²]	F_a/F_b	[%]	[%]	[%]	[%]
a3.2	ND	4.62 x 10 ⁻¹		29.3	21.2	2.3	44.6
a3.4	ND	8.03 x 10 ⁻¹		39.2	35.3	0.2	23.5
a3.6	ND	9.24 x 10 ⁻¹		55.2	39.2	0.3	5.4
a3.8	1.61 x 10 ⁻²	2.25 x 10 ⁰	140	42.7	35.7	0.5	20.2
i3.2	1.28 x 10 ⁻²	9.99 x 10 ⁻¹	78	54.1	42.0	0.4	4.1
i3.4	1.91 x 10 ⁻²	1.63 x 10 ⁰	85	53.5	41.8	0.3	4.1
i3.6	3.23 x 10 ⁻²	1.26 x 10 ¹	390	54.8	43.3	0.3	1.2
i3.8	5.27 x 10 ⁻²	4.15 x 10 ⁻¹	8	42.8	35.7	0.3	20.4
u3.2	ND	-1.30 x 10 ⁻⁵		49.0	38.5	0.5	12.4
u3.4	-1.21 x 10 ⁻⁴	4.20 x 10 ⁻¹	-3,478	45.8	35.0	0.5	17.5
u3.6	ND	7.09 x 10 ⁻¹		53.8	42.8	0.3	2.9
u3.8	ND	1.93 x 10 ⁻¹		39.8	34.4	0.2	25.0
e3.2	1.80 x 10 ⁻²	1.01 x 10 ⁻³		46.0	38.0	0.3	16.3
e3.4	ND	3.31 x 10 ⁰		50.9	42.2	0.1	6.8
e3.6	ND	2.03 x 10 ⁻¹		48.3	39.9	0.3	10.6
e3.8	ND	1.65 x 10 ⁻¹		14.0	11.6	3.1	73.1
ka2.2	ND	ND		0.2	0.8	18.7	80.3
ka2.4	ND	ND		0.1	1.3	18.3	80.3
ka2.6	ND	ND		0.1	2.4	17.1	80.2
ka2.8	ND	ND		0.2	0.9	17.7	81.2
ki2.2	ND	ND		0.1	0.4	19.0	80.4
ki2.4	ND	ND		0.1	2.7	17.1	80.7
ki2.6	ND	ND		2.1	2.9	16.5	81.1
ki2.8	ND	ND		0.1	4.6	15.2	80.9
ku2.2	ND	ND		0.1	3.0	16.5	80.5
ku2.4	ND	ND		0.1	0.9	18.6	80.4
ku2.6	ND	ND		0.1	3.5	16.2	80.2
ku2.8	ND	ND		0.9	3.1	16.3	80.5
ke2.2	ND	ND		0.1	0.1	19.5	80.0
ke2.4	ND	ND		0.1	0.4	18.9	80.5
ke2.6	-3.30 x 10 ⁻⁵	ND		0.2	1.4	18.1	80.3
ke2.8	ND	ND		0.4	8.0	10.1	82.4

下において実施した。穿孔する位置を中心軸として r 軸を動径方向に、 z 軸を深度方向とした解析空間である。基礎式には、次式からなるダルシー則、浸透流方程式、および移流分散方程式を用いた。

$$\mathbf{v}_g = -\frac{k_{rg}\mathbf{K}}{\phi S_g \mu_g} (\nabla p_g + \rho_g g \nabla z) \quad \nabla \cdot (\phi S_g \rho_g \mathbf{v}_g) = 0 \quad \phi \frac{\partial c_g}{\partial t} = \nabla \cdot (\phi \mathbf{D} \nabla c_g - \phi \mathbf{v}_g c_g) \quad (1)$$

ここに、 \mathbf{v}_g ：ガスの実流速 (m/s)、 \mathbf{K} ：固有透過度テンソル (m²)、 k_{rg} ：透気係数比、 \mathbf{D} ：分散係数テンソル (m²/s)、 c_g ：ガス濃度 (mol/L)、 S_g ：ガス相の飽和度、 μ_g ：ガス相の粘性係数 (Pa·s)、 ρ_g ：ガス相の密度 (kg/m³) ϕ ：間隙率、 g ：重力加速度 (m/s²) を表わす。分散係数は $D_{ij} = \alpha_T v_i v_j + (\alpha_L - \alpha_T) v_i |v| + \tau D_m \delta_{ij}$ として与えられ、ここで α_L ：縦分散長 (m)、 α_T ：横分散長 (m)、 D_m ：拡散係数 (m²/s)、 τ ：屈曲率を表わす。

今回の調査では廃棄物層内の圧力は計測していない。そのため、まず解析に妥当な境界値 Δp_g を決定するために、 Δp_g をパラメトリックに与えたときのチャンパー内へのメタンフラックスを評価し、ガスフラックスの実測値と比較することで妥当な境界値 Δp_g を決定した。図-3 は、定常時における廃棄物層内の流速ベクトルとメタン濃度分布を表わしている。廃棄物層下部の圧力は $\Delta p_g = 1,000$ Pa とした場合の解析例である。厚さ 0.5 m の覆土層に対して深さ 0.6 m の穿孔を行うことで、穿孔部分に流速ベクトルが集中していることがわかる。図-4 は、チャンパーに流入するメタンフラックスに及ぼす廃棄物層内の圧力の影響を示す。ここで、表-1 および表-2 に示す埋立地におけるメタンフラックスの実測値はハッチ部分の範囲内にある。廃棄物層下部に与える境界値は $50 < \Delta p_g < 1,000$ Pa であれば実測値の取り得る範囲であると考えられる。

覆土層の固有透過度 (透気係数) をパラメトリックに変化させ、穿孔前後のメタンフラックス比に及ぼす影響を図-5 に示した。廃棄物層内の圧力

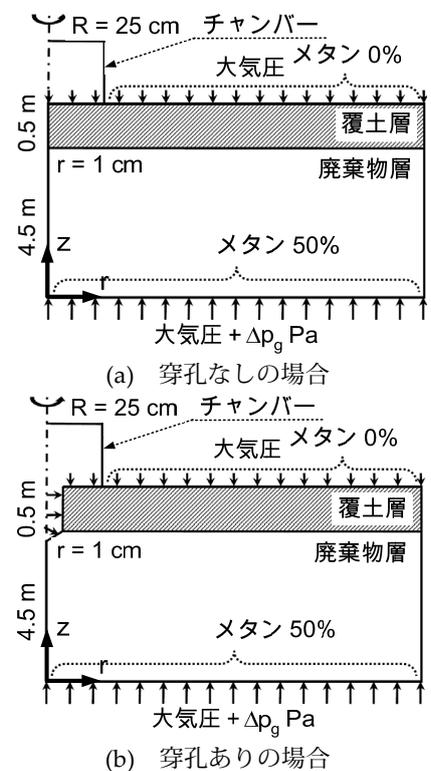


図-2 軸対象条件下における解析空間

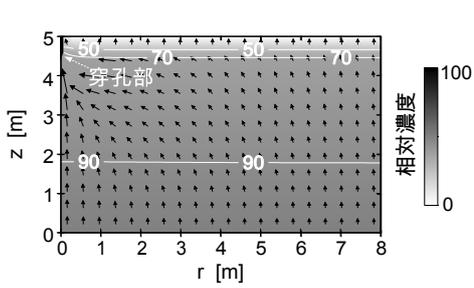


図-3 穿孔時の廃棄物層内の濃度分布と流速分布 ($r=0\text{ m}$, $z=5\text{ m}$ が穿孔部)

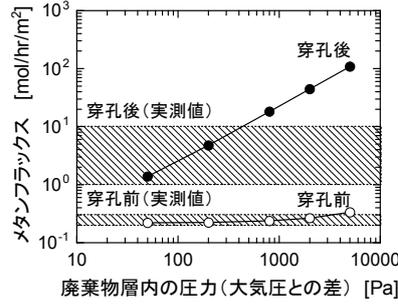


図-4 フラックスに及ぼす廃棄物層内圧力の影響

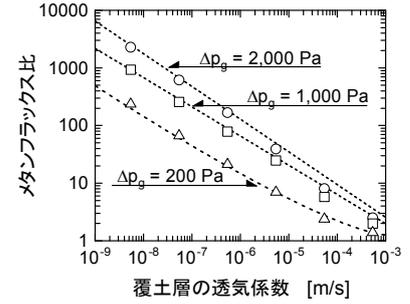


図-5 フラックス比と覆土層の固有透過度の関係

Δp_g は、200、1,000、2,000 Pa の3通りを与えた。穿孔前後でのフラックス比が大きいほど、覆土層の透気係数は小さいことがわかる。その関係は廃棄物層内の圧力に依存し、圧力レベルが高くなるにつれて勾配が立ちあがる傾向にある。圧力レベルが高ければ物質移動は覆土層の透気係数に依存する移流現象が卓越し、一方で圧力レベルが低ければ覆土層の透気係数に依存しない拡散現象が卓越するためである。表-3では、 $\Delta p_g = 1,000\text{ Pa}$ における透気係数-フラックス比の関係に基づいて、メタンフラックス比の実測値(表-1、表-2)から各測点における覆土層の透気係数を推定した。透気係数の推定値は $1.0 \times 10^{-6} \sim 7.2 \times 10^{-12}\text{ m/s}$ であり、測点 L3 で透気係数の推定値は、実測値とほぼ等しい値を示した。

表-4 各測点における透気係数の推定結果

測点	フラックス比 F_a/F_b	推定した透気係数 [m/s]	実測した透気係数 [m/s]
L1	55	1.03×10^{-6}	
L2	32,326	7.03×10^{-12}	
L3	194	9.87×10^{-8}	2.74×10^{-7}
M1	1,787	1.58×10^{-9}	
a3.8	140	1.81×10^{-7}	
i3.2	78	5.38×10^{-7}	
i3.4	85	4.58×10^{-7}	
i3.6	390	2.69×10^{-8}	
i3.8	8	3.73×10^{-5}	

3. 地表面ガスフラックスに及ぼすガス抜き管、通気層の影響評価

3.1 はじめに

処分場ガスの放出量を抑制する手段として、処分場内には鉛直のガス抜き管が設けられ、海面埋立処分場のように埋立深さが浅く、広大な埋立面積をもつ場合には、鉛直のガス抜き管で処分場ガスを回収するよりも、廃棄物層と覆土層の間に通気層を設け、ガスを通気層内に誘導させ回収した方が有利となる場合がある。ここでは、埋立深さの浅い埋立処分場を想定し、処分場ガスの放出抑制対策として(1) 覆土層のみ、(2) 覆土層とガス抜き管、(3) 覆土層と通気層、を施工した場合の、各対策工の有効性を処分場ガス挙動解析に基づき議論した。

3.2 解析方法と条件

解析空間を図-6に示す。深度5mの処分場を考え、水平方向に $L/2\text{ m}$ の解析空間を考え、左端を中心軸とした軸対称条件下において解析を実施した。ここで、 L は鉛直ガス抜き管の間隔とし、解析ではパラメータとして扱った。図-6(a)は、厚さ4.5mの廃棄物層と、厚さ0.5mの覆土層の二層構造であり、ガス抜き管や通気層を設けない無対策な状況と考えた条件である。廃棄物層下端の圧力は大気圧よりも2,000 Pa 高い値を与え、廃棄物層から覆土層に向けてガスの流れをつくりだした。図-6(b)では解析空間の左端に鉛直ガス抜き管を設置した場合であり、ガス抜き管の内圧は大気圧に等しいものと仮定した。図-6(c)では鉛直ガス抜き管ではなく、覆土層直下に厚さ0.5mの通気層を設けた場合である。通気層へ誘導されたガスは、通気層内を通り、ガス抜き箇所(解析空間の左端)まで運ばれる。通気層を設けることで処分場ガスを一か所に集めることができれば、処分場ガスの対策として優位である。

解析手順は、まず無対策の条件である図-6(a)に着目し、処分場内から発生するガスフラックス q_{in} を計算する。

$$q_{in} = -\frac{k_{gt}}{D} \left(\frac{p_{gb}}{\rho_w g} - \frac{p_g}{\rho_w} \right) D = -\frac{1}{d_1/k_{g1} + d_2/k_{g2}} \left(\frac{p_{gb}}{\rho_w g} - \frac{p_g}{\rho_w} \right) D \quad (2)$$

k_{gt} : 合成透気係数 (m/s)、 p_{gb} : 廃棄物層下端の圧力 (Pa)、 ρ_w : 水の流体密度 (kg/m^3)、 ρ_g : ガスの流体密度 (kg/m^3)、 D : 廃棄物層と覆土層の合計層厚 (m)、 d_1 : 廃棄物層の厚さ (m)、 d_2 : 覆土層の厚さ (m)、 k_{g1} : 廃棄物層の透気係数 (m/s)、 k_{g2} : 覆土層の透気係数 (m/s) を表す。次に、算出されたガスフラックス q_{in} を、図-6(b)と図-6(c)の解析空間の下端に、ノイマン型境界値として与える。図-6(a)の条件では、処分場内で発生したガスの全量が覆土層外に放出されるのに対して、図-6(b)と図-6(c)の条件では、発生したガスの全量から、ガス抜き管または通気層によって回収できるガスを減じた、その差分が覆土層外に放出されることになる。このことから、ガス抜き管または通気層の有効性を表す指標として、ガス回収量 Q_c およびガス回収率 χ を以下のように定義した。

$$Q_c = 2\pi \left(\int_{r=0}^{r=L/2} q_{in} r dr - \int_{r=0}^{r=L/2} q_{out} r dr \right) \quad \chi = Q_c / \left(2\pi \int_{r=0}^{r=L/2} q_{in} r dr \right) \quad (3)$$

ここで、 Q_c : ガス抜き管または通気層によるガス回収量 (m^3/s)、 q_{in} : 廃棄物層内へ流入するガスフラックス (m/s)、

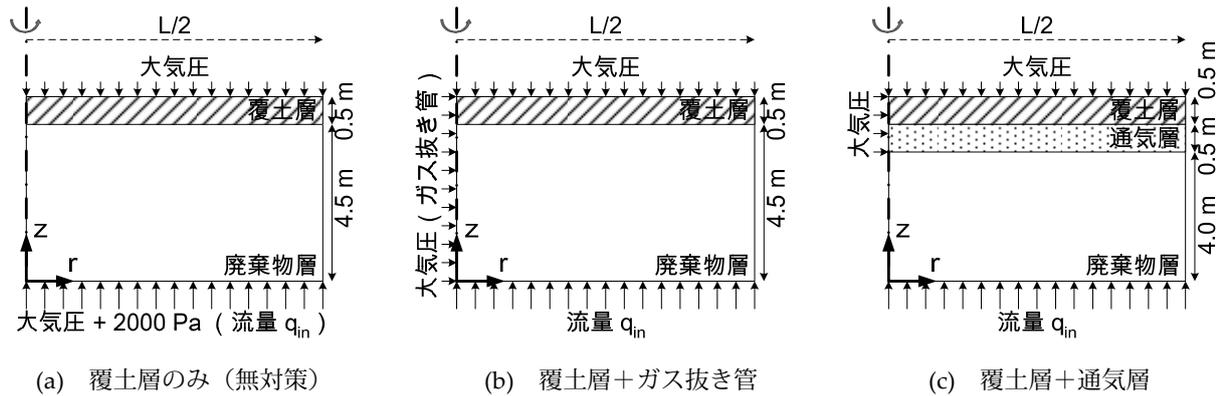


図-6 軸対象条件下における解析空間と境界条件

表-5 ガス抜き管または通気層設置によるガス回収効果

長さ L [m]	ガス抜き管を設置した場合			通気層を設置した場合		
	放出フラックス q_{out} [m/s]	ガス回収量 Q_c [m ³ /s]	ガス回収率 χ [%]	放出フラックス q_{out} [m/s]	ガス回収量 Q_c [m ³ /s]	ガス回収率 χ [%]
25	4.1×10^{-8}	8.8×10^{-5}	81.5	4.6×10^{-9}	1.1×10^{-4}	97.9
50	1.1×10^{-7}	2.2×10^{-4}	50.3	2.0×10^{-8}	3.9×10^{-4}	90.7
100	1.7×10^{-7}	4.0×10^{-4}	22.9	6.7×10^{-8}	1.2×10^{-3}	69.7

q_{out} : 覆土層外へ放出されるガスフラックス (m/s)、 χ : ガス回収率を表わす。処分場ガス挙動解析から解析空間内に流入するガスフラックス q_{in} と、解析空間外に流出するガスフラックス q_{out} を求めて、ガス回収量 Q_c およびガス回収率 χ を計算した。

3. 3 解析結果

表-5 にガス抜き管を設置した場合と、通気層を設置した場合でのガス回収率を整理した。表中の長さ L とは、ガス抜き管の間隔、もしくは通気層の長さを表わす。いずれの場合でも、長さ L が長くなるにつれてガス回収効率が低下する傾向にある。ガス抜き管は間隔が長くなるにつれてガス回収率は大幅に低下するが、一方で通気層の場合では、間隔が長くなってもガス抜き管の場合ほど極端な低下は認められない。埋立深さが浅く、広大な埋立面積をもつ処分場では、ガス抜き管よりも通気層を設置した方が、ガス回収率の面では有効であると考えられる。

図-7は、図-6(c)の解析空間において覆土層上端から放出するガスフラックス q_{out} の動径方向の分布を示している。通気層の長さは $L = 100$ m と固定し、ガス放出量に及ぼす通気層の透気係数の影響を調べた。廃棄物層の透気係数は $k_g = 5.4 \times 10^{-4}$ m/s と設定し、通気層の透気係数を廃棄物層のそれの1~1,000倍まで変化させた。通気層の透気係数が廃棄物層のそれと同じ場合ではガスの回収効果はほとんど認められないが、通気層の透気係数を高くすることでガスの回収効果を高めることができる。通気層の透気係数を廃棄物層の1,000倍に設定した場合では、通気層の長さが100mであっても、廃棄物層内のガスのほとんどを回収できると予想される。

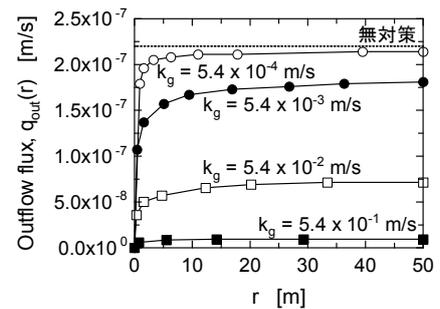


図-7 覆土層からの放出フラックスに及ぼす通気層の透気係数の影響

4. 結論

本調査研究では、最終処分場から発生する処分場ガスの移動・反応挙動を可視的、かつ定量的に表現するためのシミュレーションモデルを構築し、ガス抜き管、最終覆土の性能評価を行うことで安全・安心を確保できる最終処分場の設計支援を行うための調査研究を実施した。その結果、次の成果を得た。(1) 覆土層の穿孔前後における埋立地ガスフラックス計測値を用いて、覆土層の透気係数を推定する手法を提案した。処分場ガス挙動解析によれば、覆土層の固有透過度(透気係数)と穿孔前後のフラックス比には線形的な相関が認められた。現地において穿孔前と後のガスフラックスを計測することで覆土層の透気係数の推定は可能と考えられる。しかし、メタンガスは覆土層通過中に酸化されるので、本解析で求めた穿孔前のメタンフラックスは実測値よりも大きい値を示す可能性がある。メタンフラックスと二酸化炭素フラックスの総和で評価を行う、他成分ガスにおける相互拡散現象を考慮するなど今後透気係数の妥当性評価と信頼性向上に努める必要がある。(2) 埋立深さの浅い海面埋立処分場を想定し、ガス抜き対策としての鉛直のガス抜き管の性能評価を実施するとともに、廃棄物層・通気層・覆土層から成る積層型の処分場構造の有効性を数値解析により議論した。埋立深さが浅く、広大な埋立面積をもつ処分場では、ガス抜き管よりも通気層を設置した方が、ガス回収率の面では有効と考えられる。また、通気層の透気係数はガス回収率に著しい影響を与える。通気層の透気係数は廃棄物層のそれに比べて100倍以上に施工するのが望ましい。

海面最終処分場の安定化指標の現場調査及び 安定化シミュレーションに関する研究

○吉田英樹・室蘭工業大学

1 本調査研究の目的

本調査研究では海面最終処分場における安定化進行度の把握と内部好気化による安定化促進効果を明らかにすることを目的とした。まず、埋立ガス成分と温度を安定化指標として、調査対象処分場の現場で測定することで、安定化進行度を把握することを第1の目的とした。さらに、微生物反応をモデル化することにより、ガス成分の数値シミュレーションを行うことが可能となり、測定された埋立ガス成分がどのようなメカニズムで形成され、それが安定化とどのような関係にあるのかを明らかにすることを第2の目的とした。

2 本調査研究の方法

本研究ではまず、内水面が高い陸上最終処分場を調査対象として選び、1) 現場調査による温度・埋立ガス成分の調査、2) 数値埋立工学に基づく安定化シミュレーション、を実施し、安定化へのガス抜き管を通じての安定化促進効果を評価した。さらに、海面最終処分場を調査対象として選び、マンホール及びガス抜き管内部の温度・埋立ガス成分の調査を行った。これらにより、廃棄物層内部の安定化進行度を把握した。また、これらの処分場での温度及び埋立ガス中の深さ方向の分布の観測を行うことにより、廃棄物層内の2次元的な微生物反応の発生状況を把握し、合わせて安定化の進行度の空間的な広がりを評価した。

3 結果と考察

3.1 陸上処分場における調査研究結果と考察

3.1.1 調査概要 調査対象処分場は北海道内の一般廃棄物最終処分場で、埋立期間24年を経て、2003年に埋立が終了している。2003年度から各種調査及び閉鎖工事を開始し、2005年7月より「廃棄物早期安定化対策工」として、φ200mmの塩ビ管が約50m間隔で設置され、2008年12月まで89本のガス抜き管が設置されている。ガス抜き管は多孔管であり、廃棄物層から発生するメタンガス、炭酸ガスを中心とする埋立ガスの排出効果と、廃棄物層への酸素導入効果を目的として設置されている。調査対象処分場の概略図とガス抜き管の設置状況について、図-1に示した。本報告では、ガス抜き管6-4と6-5を中心に記述した(拡大図参照)。調査項目は温度と埋立ガス成分とした。

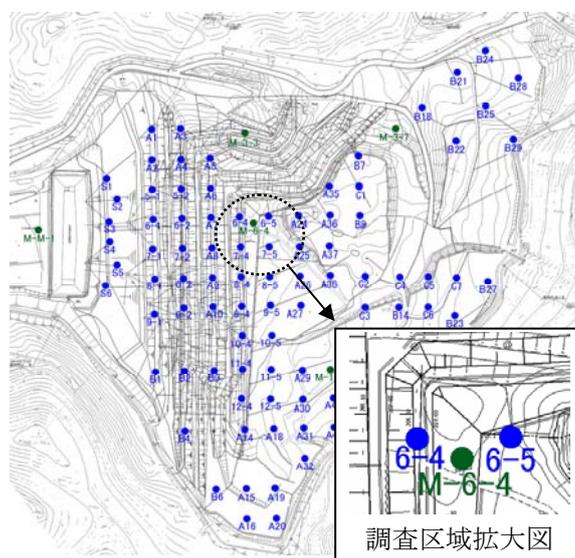


図-1 調査対象処分場平面図と
ガス抜き管設置状況

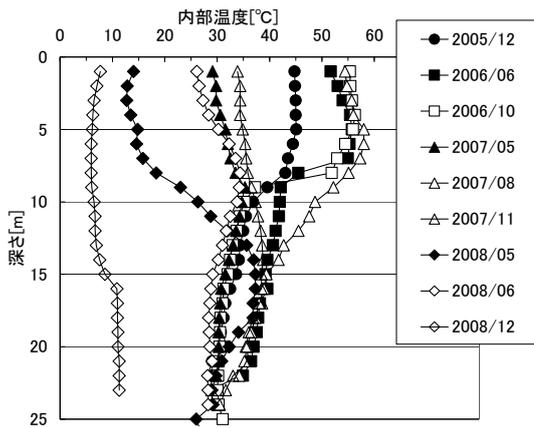


図-2 ガス抜き管 6-4 における内部温度分布

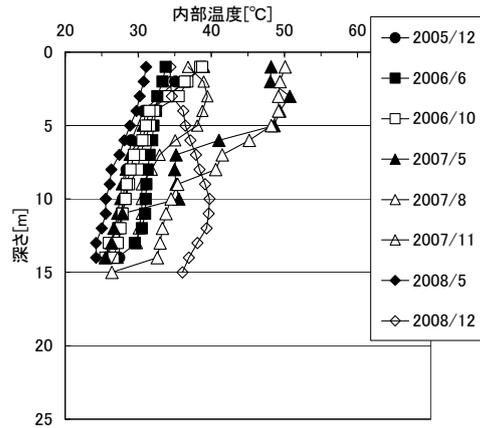


図-3 ガス抜き管 6-5 における内部温度分布

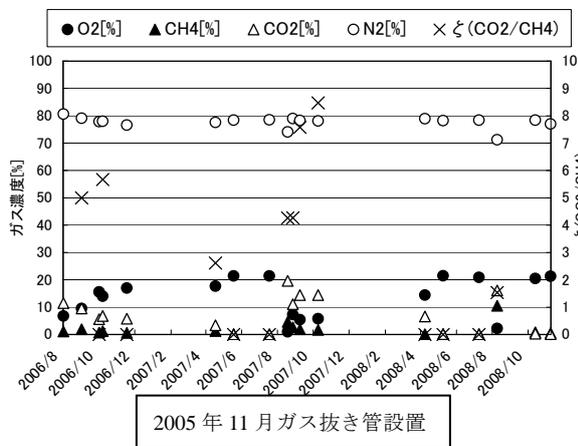


図-4 6-4 開口部におけるガス成分変化

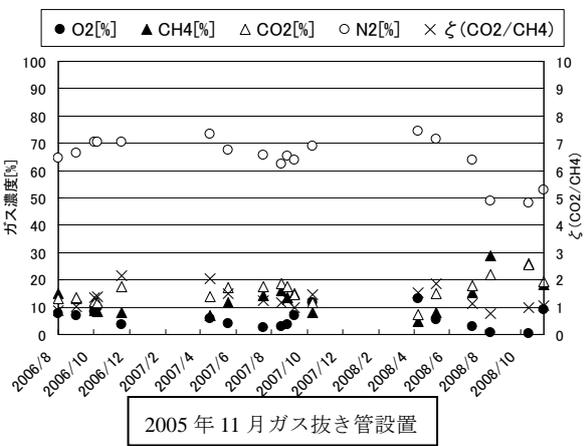


図-5 6-5 開口部におけるガス成分変化

3.1.2 温度分布調査結果と考察 図-2 に 6-4、図-3 に 6-5 の内部温度分布をそれぞれ示した。ガス抜き管設置後約 1 ヶ月の 2005 年 12 月からの測定結果を示した。6-4 については、上層部 10m までの範囲において内部最高温度が高く、2006 年には最高温度が 60°C 付近に達した。一方、6-5 については、1 ヶ月経過後では 6-4 よりやや低く、最高で 35°C 程度であったが、その後漸増し、2007 年には最高 50°C に達している。いずれも、地表面近くでの温度上昇が顕著であることから、ガス抜き管近傍からの酸素侵入による好気性反応による温度上昇と推察される。6-4 については、2007 年に温度のピークを迎えた後は、2008 年には急激に減少し、2008 年 12 月には 10°C 以下になり、好気性反応による多量の発熱が終了していることが推察される。一方、6-5 については、温度が低下しているものの、2008 年でも 40°C 前後の温度を維持していることから、発熱は継続していると推察される。

3.1.3 ガス成分分布調査結果と考察 次に、図-4 に 6-4、図-5 に 6-5 のガス抜き管開口部のガス成分の変化をそれぞれ示した。いずれの場合でも、窒素が 60% 以上検出され、空気の侵入が確認できるが、酸素濃度は空気中の 21% に比べ、大きく低下していることがわかり、酸素が内部で消費されている、つまり好気性微生物反応が起こっていることが確認できる。ただし、メタンガスも最大で 30% 近く検出され、嫌気性微生物反応の存在も確認できる。これは、酸素侵入の及ばない深部での反応に伴って排出され、検出されていると思われる。ここで、好気性微生物反応と嫌気性微生物反応の発生状況を考察するため、以下のようなパラメーターを導入した。

$$\zeta = \frac{CO_2}{CH_4} = \frac{6 \times \frac{50}{100} \times CO_2(\text{好気性反応}) + 3 \times \frac{50}{100} \times CO_2(\text{嫌気性反応})}{3 \times \frac{50}{100} \times CH_4(\text{嫌気性反応})} = 3.0 \quad (1)$$

好気性反応が活発になり好気性反応率が上昇するにつれて、 ζ の値が大きくなる。図-4を見ると、6-5ではガス抜き管設置後1年から2年まで ζ の値が2から最大8で推移しており、活発な好気性反応が起こっていることが推察される。一方、図-5を見ると、 ζ は1~2付近で推移しており、メタンガスも常に10~30%程度検出され、嫌気性微生物反応が支配的であることがわかる。このように約50m離れた2本のガス抜き管では、ガス抜き管近傍での微生物反応条件に大きな違いが生じていることがわかる。これは地形の影響も考えられ、6-4は斜面部に近いところに位置しており、ガス抜き管の表層からの酸素侵入に加えて、斜面部からの半径方向の酸素の侵入の影響も考えられる。このようにガス抜き管設置による安定化促進においては、酸素の侵入経路がどのように形成されるのかによって、その効果が大きく変化する可能性があることが示唆された。

3.1.4 ガス抜き管近傍の埋立ガス移動現象の数値解析 次に、ガス抜き管内で観測されたガス成分実測値を再現するため、ガス抜き管近傍の埋立ガス移動現象の数値解析を行った。図-6に想定した解析領域を示した。初期条件として、ガス抜き管を設置する前の廃棄物層内はメタンと炭酸ガスで一様に6:4の割合で充満しているとした。

25ヶ月経過時点の解析による深さ方向の濃度分布を図-7に示した。解析においては、分子量の最も大きい炭酸ガスは廃棄物層内にとどまる割合が高く、逆に分子量の最も小さいメタンガスは層外に排出される割合が高くなった。また、酸素は深さ1m付近までの侵入にとどまり、廃棄物層内の嫌気性微生物反応が活発な場合、酸素の侵入が妨げられることを定量的に明らかにできた。この結果により、ガス抜き管を通じての酸素侵入が困難であり、さらに酸素侵入を促進するような措置、たとえば覆土やガス抜き管周囲を通気性のよいものにするのが考えられる。

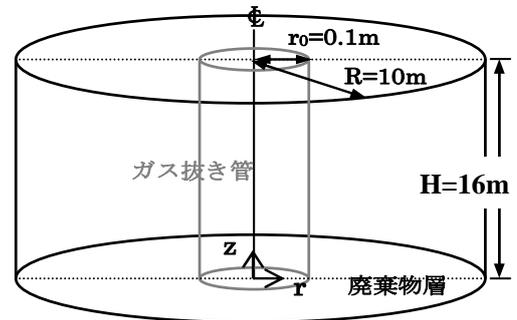


図-6 解析モデル

3.2 海面陸上処分場における調査研究結果と考察

3.2.1 調査概要 調査対象処分場は尼崎沖埋立処分場である。図-8に調査対象領域の平面図を示した。処分場には集水暗渠のマンホール及び観測孔が複数設置されており、これらの場所において、観測を行った。調査方法は陸上処分場と同様であり、温度及び埋立ガス成分の測定を行った。

3.2.2 ガス成分分布調査結果と考察 尼崎埋立処分場内の管理区画埋立地において、平成21年1月及び2月に集水暗渠及

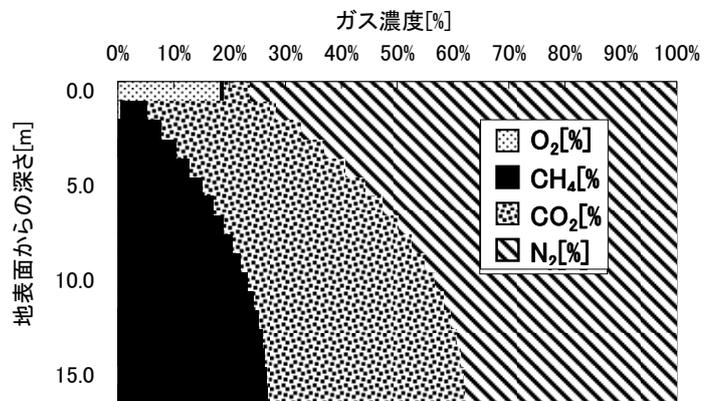


図-7 6-5の深さ方向のガス濃度分布（解析値）
設置後2年経過時

び観測孔中の埋立ガス温度及び成分分布の調査を行った。

平成 21 年 1 月の埋立ガス成分の調査結果を図-8, 9 に示した。図-8 は観測孔の出口のガス成分結果であるが、広範囲にわたって、メタンガスが検出された。特に観測孔の蓋があるところでは、密閉されるため、メタンガス濃度がきわめて高かった。過去に環境省によって調査が行われた G1~G4 孔では、蓋が設置されていたが、40~60%のメタンガス濃度が検出された。一方、蓋のないところでは、メタン濃度は低く、ほぼ空気組成に近いことがわかった。このように、観測孔上部をオープンにして、内部ガスを積極的に排出することによって、内部のメタン濃度を低減でき、安定化を促進できると思われる。

次に、図-9 は深さ方法の分布を測定した結果を示しているが、深さ方向に濃度分布が見られ、特に I-1 孔では、観測孔上部は開放されているが、酸素が深さ方向に減少し、メタンガス濃度が増加していることがわかる。一方、H18-1 孔には観測孔上部に蓋があり、メタンガス濃度が 50%でほぼ一様である。このように、上部の開放の有無でガス濃度分布に大きな差があることが確認できた。また、酸素が深さ 4m 程度まで侵入していることも確認できたので、集水暗渠内の水面位置を下げることで、

通気性が確保でき、酸素の侵入とともに、安定化を促進させる好気性微生物反応の発生が期待できるが、本調査結果では、好気性微生物反応発生による炭酸ガスの顕著な発生や温度上昇は見られなかった。今後さらに調査を継続することによって、安定化の進行を観測する必要性が高いと思われる。

4 結論

本調査研究では海面最終処分場における安定化進行度の把握と内部好気化による安定化促進効果に着目し、安定化の進行度を温度及びガス成分で明らかにできること、また数値シミュレーションによる安定化メカニズムの解明が可能であることを示した。今後は海面処分場でのさらに継続的な調査及び数値シミュレーションによる安定化メカニズム解明が必要であると思われる。

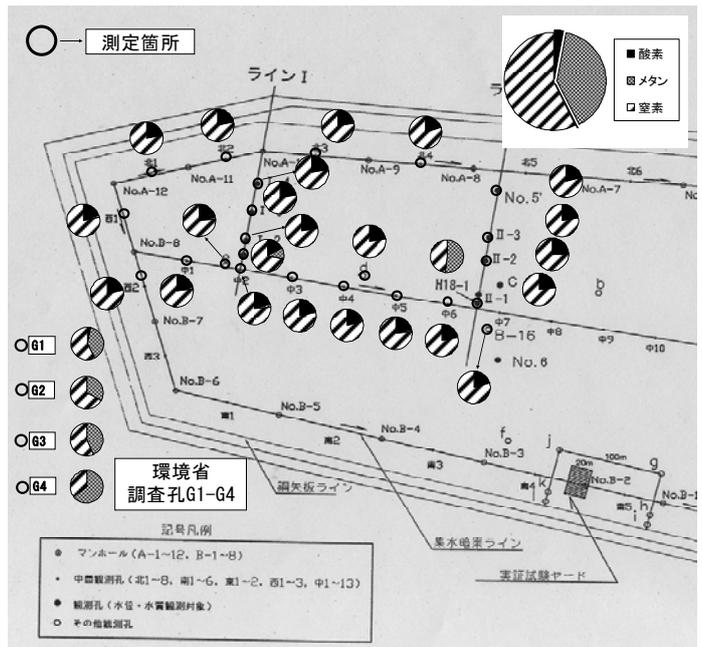


図-8 調査対象処分場平面図と調査位置及び観測孔上部ガス成分

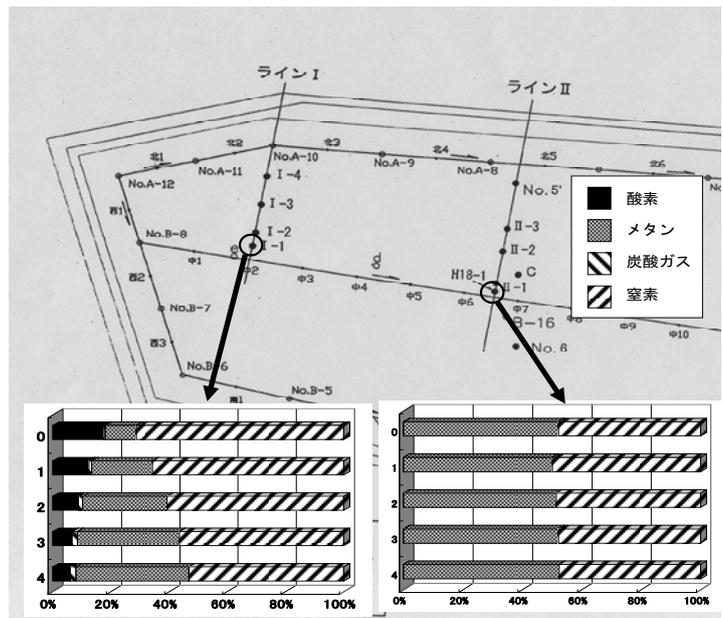


図-9 観測孔内ガス成分分布

粗大・不燃ごみの破碎処理残渣の汚濁物質溶出特性と実態調査

○宮脇健太郎，赤間 美文，山本 智也（明星大学理工学部）

1. 調査研究目的

現在，日本では年間 5000 万トンの一般廃棄物が排出され，焼却率 80%程度と可燃ごみはほぼ全量焼却されている。また循環型社会形成を目指す法律・制度の整備も進み，リサイクル率も上昇している。資源化の進む中，最終処分量の削減も環境負荷低減・処分容量の延命などのために進められている。埋立廃棄物の 60%程度を占める焼却残渣については，施設の熔融炉化やエコセメント・セメント原料としての利用も開始されている。全国平均で埋立廃棄物の 20%近くを占める粗大ごみ・不燃ごみの資源化残渣については，更なる資源化も困難で，今後とも埋立処分が続けられていくと予想される。これまで，不燃・粗大ごみの資源化残渣（以下，不燃破碎残渣）の検討は，有害物質のマテリアルフローなどの面から，検討が実施されている。しかし，埋立後の環境負荷定量化については，これまで系統的な検討は実施されていない。このため，埋立物中の割合が増加すると考えられる不燃破碎残渣の溶出特性についての検討が必要となる。また，各種有害物質等の溶出挙動が明確になると，資源化も進むと考えられる。

本研究課題では，平成 19 年度に同調査研究助成事業にて助成を受けた「埋立時の粗大・不燃ごみの破碎処理残渣からの汚濁物質溶出特性」の継続課題として，さらに広い条件での汚濁物質溶出特性について検討した。具体的には，粗大ごみ・不燃ごみ処理より発生する不燃破碎残渣について，各種特性化試験（溶出試験）を行い，陸上および海面埋立条件での鉛・カドミウムなど現在規制対象となる金属・未規制の金属類および有機汚濁成分の流出溶出特性について把握した。カラム試験を用いて各種条件下での中長期的な重金属等の溶出挙動についても検討し，海面埋立時の条件についても基礎的実験を実施した。さらに，塩類，有機物を含む浸出水中の微量金属測定の前処理手法の開発に関する基礎研究も行った。

2. 調査研究方法

2-1 不燃破碎残渣の物理特性（組成）

粗大不燃ごみ処理施設（東京 A 市清掃工場）において，2008 年 2 月に不燃破碎残渣を採取した。約 2 t の残渣を貯留したストックヤードから約 100kg を採取し，約 3 週間自然乾燥し，実験に用いた。実験では，粒径別の各種特性化試験（溶出試験類）を実施するため，4.75mm 大型ふるいを用いて，粒度調整を行った。さらに，2，1，0.5，0.25，0.125mm のふるいを用いて各粒径の試料を調製した。物理組成については，4.75mm 以上について行った。

組成項目は，硬質プラスチック，軟質プラスチック，石・陶磁器類，ガラス，金属，木，プリント基板・電子基盤，その他（紙，ウレタンフォームなど）の 9 種類とし，分別方法はピンセットを用い目視で行った。

【代表連絡者】 宮脇健太郎 〒191-8506 東京都日野市程久保 2-1-1

明星大学理工学部環境システム学科 Tel 042-591-6234 E-mail : miyawaki@es.meisei-u.ac.jp

キーワード： 不燃破碎残渣，重金属，前処理，固相抽出，

図 1 に調査結果を示す。硬質プラスチックが 40% 近く含まれており一番多く含まれていた。次いで、石・陶磁器類 26%、ガラス 23% となった。粒径別に物理組成を行ったケースでは、粒径 26.5mm 以上のガラスは確認されなかった。重量的には少量であるが、破碎後も有害物を多く含むと推測されるプリント基板等が分離できる状況であった。

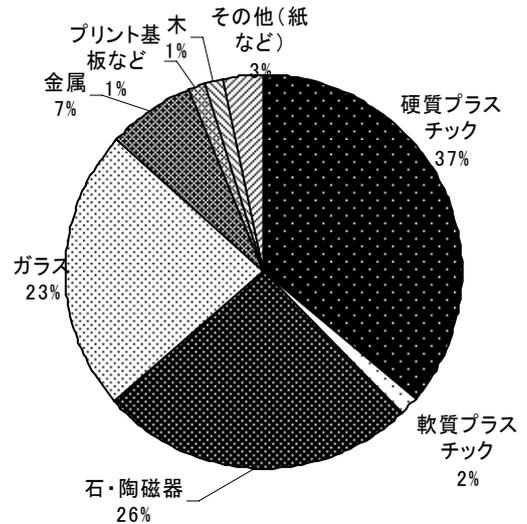


図 1 物理組成

2-2 不燃破碎残渣からの有害物質・汚濁物質溶出特性（各種特性化試験）

昨年度の助成研究に継続し、課題となった試験類の検討を行った。今年度は、特に環境最大可能溶出量試験（廃棄物資源循環学会規格草案）と環境暴露促進試験（乾湿繰り返し試験）について、試験法の実施の具体的検討を行った。

1) 環境最大溶出可能量試験： 酸性 (pH4)、アルカリ性 (pH12) の過酷な条件で溶出（抽出）を行う試験法であり、オランダのアベイラビリティ試験を参考にアルカリ側での評価も行うことを目的としている。また、この試験では、中性 (pH7) での溶出も行うものである。結果の一部例として図 2 に T-Cr の溶出量を示す。いずれも元の試料粒径が小さいほど溶出量が高い傾向が見られた。試験では、分析時に 0.125mm 以下に粉碎した試料を用いていることから、細かな粒径部分に溶出可能な Cr が多く存在する可能性が示唆された。

2) 環境暴露促進試験： 実際の環境状況を模擬した試験で不燃破碎残渣が表面近くに埋め立てられた際に、降雨晴天時が繰り返される状況下で溶出される有害物質の変化を把握する試験を行った。T-Cr の土壌含有量変化について図 3 に示す。乾湿繰り返しにより、濃度が減少した。

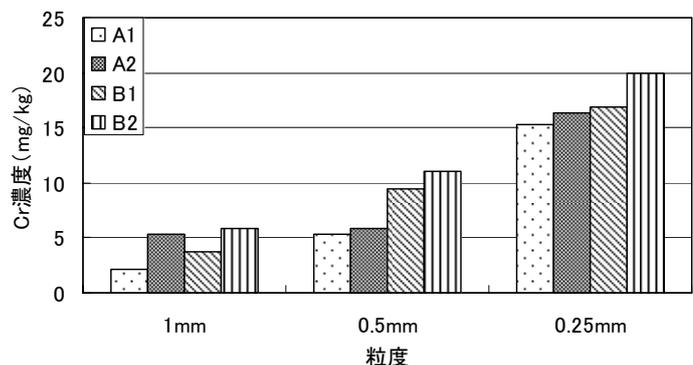


図 2 粒径別最大可能溶出量 (Cr)

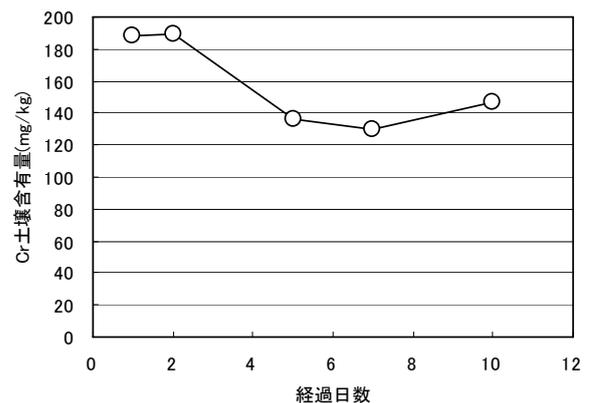


図 3 環境暴露促進試験 (環告 19 : Cr)

これまでコンクリートなどの廃棄物は酸化還元電位の変化により酸化状態が進む場合、Cr(VI)の溶出量が増加するといわれていた。不燃破碎残渣中の Cr については、形態が大きく異なる可能性が示唆された。

2-3 埋立条件による不燃破碎残渣からの溶出特性変化（嫌気・好気カラム試験）

最終処分場に埋め立てられた不燃破碎残渣の環境負荷定量化のために、カラム実験を実施した。埋立地内の状況を模擬するため、嫌気状態と好気状態の条件を設定し、併せてプラスチックの少ない条件での比較も行った。

結果の一部として図4にTOCを示す。粒子態および溶存態の有機物を比較するため、0.45 μm メンブレンフィルターでろ過したものについて検討した。いずれの試料も

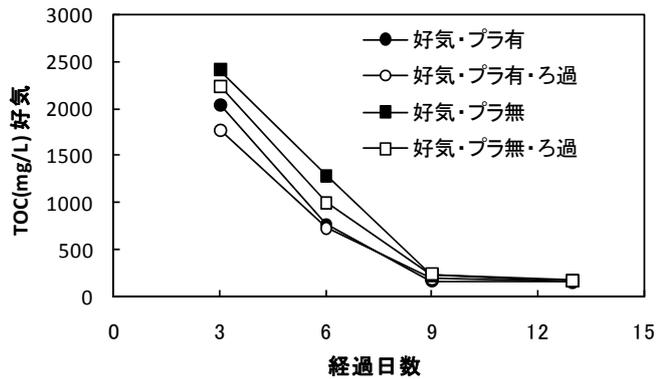


図4 カラム試験 (TOC)

経過日数につれて低下し、粒子態、溶存態の差は少なくなった。好気性カラム浸出水において、ろ過有無により約4%~23%の差が生じた。嫌気性では、4%~19%差となった。このことから、初期には粒子態有機物が最大20%程度含まれていることが考えられた。

2-4 埋立時の共存廃棄物による影響（pH, 塩類影響試験）

本研究では、山間(内陸)処分場を想定したカラム試験を行った。実験では焼却灰の浸出水と酸性雨を模擬した溶媒(散水試料)を散水し実験を行った。有害物質溶出への影響を検討するため、カラム試験の浸出水性状変化を把握することを目的とした。

結果の例として図5に各浸出水のPb濃度変化を示す。初期濃度は、模擬焼却灰浸出水が0.47mg/L、模擬酸性雨が0.042mg/L、純水が0.26mg/Lとなった。初期

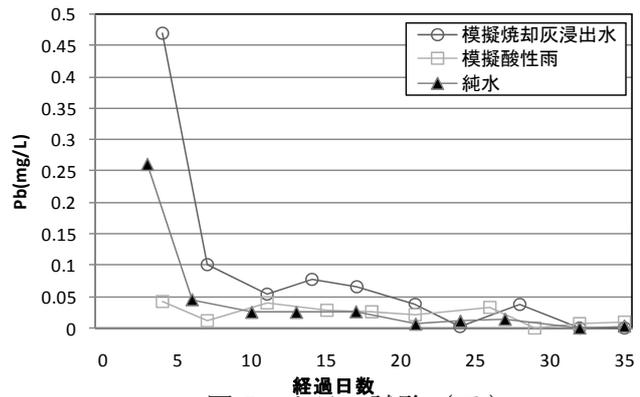


図5 カラム試験 (Pb)

のみ排水基準 (Pb0.1mg/L) を模擬焼却灰と純水が超えた。模擬焼却灰浸出水が純粋に比べ高い値を示した理由としては、高い塩化物イオンや水酸化物イオン (pH) が影響したと考えられる。

2-5 不燃破碎残渣の海面埋立時の溶出特性（海水浸漬試験）

海面埋立時に、不燃破碎残渣からの汚濁物質・有害物質の溶出について検討するため、小型の模型槽を作成し検討を行った。結果の一部として図6にろ過後に前処理をした試料(溶存態)の経過期間(週)ごとの変化を示す。Cd低濃度であるが溶出し、経時的に減少することが明らかとなった。

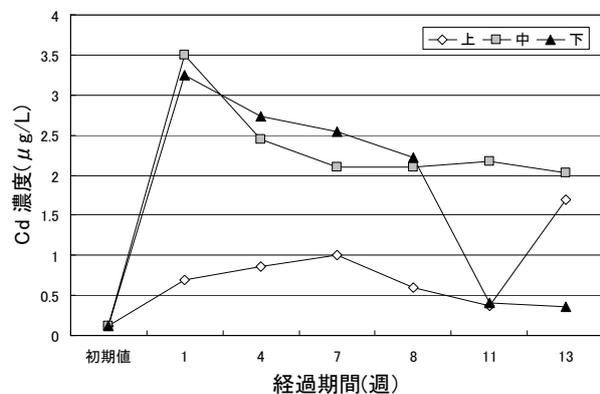


図6 海水浸漬試験 (Cd)

2-6 埋立廃棄物から溶出する微量金属の分離濃縮試験を実施するための予備実験

—キレート繊維による Cu, Ni, Co の固相抽出—

廃棄物等の浸出水・溶出試験検液は、塩類や有機物を多く含み、測定には十分な注意が必要がある。

近年では、ICP-MS を用いることが多くなっている。通常原子吸光光度計・ICP-AES 等を用いる場合は、複雑で有害性もある溶媒抽出等の操作が必要となる。本研究では、廃棄物関連検液の重金属を固相抽出により分離濃縮し分析する吸着材料を開発するための予備実験を行った。結果の一部として図 7 に作成した吸着材料について検液の pH と吸着率の関係を示す。中性～アルカリ性では各種重金属はほぼ 95%以上の捕捉ができることが明らかとなった。

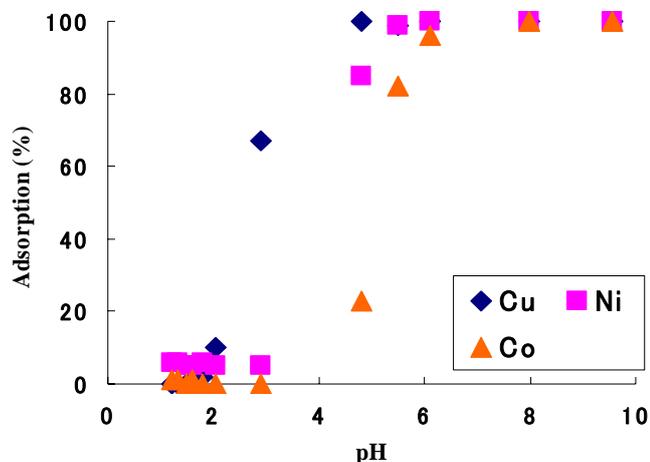


図 7 吸着量 (pH の影響)

3. 結論

1) 各種特性化試験では、環境最大溶出可能量試験及び環境暴露促進試験について検討した。これまで不燃破碎残渣に対して適用した事例が無かったが、今回の試験から、溶出特性把握のために適用する場合の基礎的データが収集できた。

2) 各種カラム試験より長期での汚濁成分・有害成分の流出可能性などが把握できた。特に、嫌気・好気状態での試験を行い、不燃破碎残渣主体の埋立地での有害物質の挙動が把握できた。また、埋立地において焼却残渣と共に埋め立てられるケースがほとんどでこの影響についても予備実験ではあるが、検討を行えた。

3) 海面埋立模擬実験では、短期 (3 ヶ月程度) での汚濁成分溶出挙動を検討した。酸化還元電位の変化が金属類溶出に影響を与えることが明らかとなった。今後実験を長期に継続することで、中長期での溶出挙動を把握する。

4) 塩類・有機物を含む浸出水や溶出試験検液中の重金属類の固相抽出 (濃縮・分離) 法を用い分析する検討を実施した。最新の材料を用いた固相抽出では、これまでの溶媒抽出と比較し優れた精度と簡易な操作法で、通常 ICP-MS を使用する濃度レベルの溶出液について原子吸光光度計を用い分析を実施できることが明らかとなった。

現在、本研究課題に関連する不燃破碎残渣に関する実験・検討は、明星大学において継続中である。また、海面埋立時等の微量金属溶出に関する分析精度向上のための固相抽出法の適応の検討も継続している。

オゾンを活用した高濃度塩分含有廃水からの微量有害有機物質の除去特性と流域-沿岸海域水環境保全に関する基礎的研究

○西村 文武 京都大学大学院
津野 洋 京都大学大学院
日高 平 京都大学大学院

1.はじめに

本研究では、塩分含有廃水での微量化学物質の制御技術開発を目指し、塩分存在下での液中オゾン反応特性を実験室規模の実験により把握するとともに、課題等を明らかにする。また一方で流域調査を踏まえ現状での微量有害化学物質の排出実態を把握する。両者の知見を基に、流域中の排出源である廃棄物埋立地や下水処理場でのオゾン適用の可能性と制御手法について検討した。

2.調査研究方法

本研究では、フィールド調査、ならびにラボスケール実験を平行して実施した。

琵琶湖・淀川水系での調査地点を図1に示す。琵琶湖からの唯一の自然流出河川である瀬田川において2地点（(1)鳥居川，(2)関ノ津）、淀川本流合流前の3川である宇治川において4地点（(3)槇尾山，(4)宇治，(5)向島，(6)淀）、木津川において3地点（(7)八幡，(8)飯岡，(9)祝園）、そして桂川において5地点（(10)納所，(11)羽束師，(12)桂，

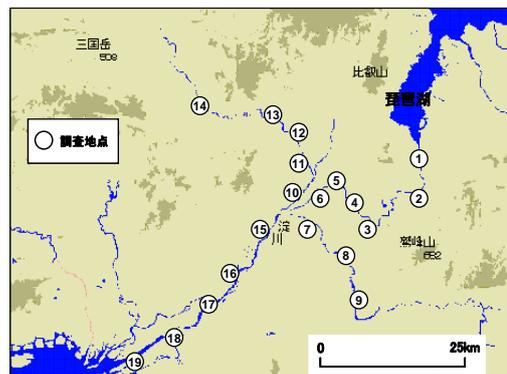


図1 琵琶湖・淀川水系における調査地点

(13)天竜寺，(14)亀岡)、さらにその下流の淀川本流において5地点（(15)高浜，(16)枚方，(17)一津屋，(18)大川，(19)西島)、計19地点で調査を行った。調査は各地点において、春季（2008/5/13～2008/6/10）、夏季（2008/8/5～2008/9/3）および秋季（2008/10/10～2008/10/28）の3回行った。ただし、雨季の時期の POPs 濃度の変動を評価するために(6)淀，(7)八幡，(10)納所，(12)桂，(15)高浜および(16)枚方の6地点において2008年6月27日に追加調査を行った。さらに、同一地点における POPs 濃度の経時的変動を評価するために、(12)桂においては月に2回の頻度で、2008年5/13～12/22の期間に計16回調査を行った。これら調査地点において、水試料を15L程度、底質試料を100g程度採取した。水試料については、POPs濃度、水温、pH、溶存酸素および導電率、SS、VSS、全有機炭素量（TOC）、全窒素濃度および全リン濃度、そして塩素イオン濃度を測定した。底質試料については、POPs

代表連絡者:西村文武

連絡先:075-383-3349、E-Mail: f.nishimura@kt5.ecs.kyoto-u.ac.jp

キーワード:オゾン処理、高濃度塩分含有廃水、微量有害有機物質、流域水環境保全

濃度、含水率および強熱減量を測定した。本研究においては、POPs 条約の 12 種の化学物質のうち、前処理方法の違いから PCBs、Dioxin、Furan および Toxaphene については測定を行っていない。また、HCH(ヘキサクロロシクロヘキサン)の測定を行っており、本研究では HCH も含めて計 10 種の化学物質を POPs と呼ぶこととする。POPs は微量汚染物質であり、環境試料の場合、通常では定量限界以下であるため濃縮を行う必要がある。本研究では、「内分

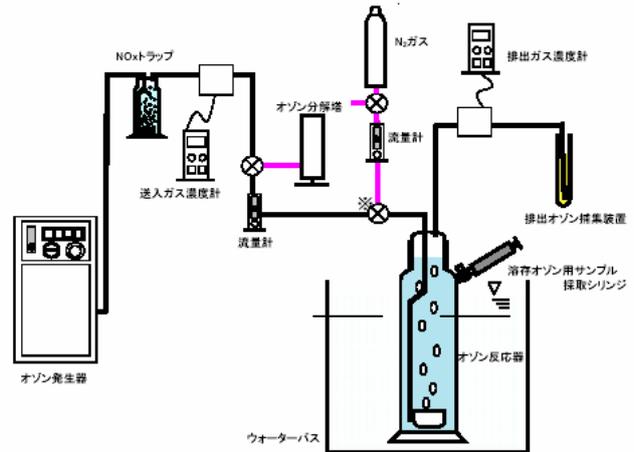


図 2 半回分式オゾン処理実験装置概要

泌攪乱化学物質(環境ホルモン)の分析Ⅲ¹⁾」および環境省の「モニタリング調査マニュアル²⁾」に従い試料の前処理を行ったのち、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS)を用いて測定した。下水処理を通じた負荷も考えられたため、下水処理場における採水を、2008年12月24日に行い、その調査結果とともに、処理水流量や河川流量の統計データとも併せて、処理場からの影響度合いについても検討した。

また、一方で、オゾンによる内分泌攪乱化学物質の除去特性を把握するために、試水は回分式でオゾンを含む気体は連続式で吹き込む半回分式実験を行った。回分式の実験装置の一例を図2に示す。加えて、塩分含有廃水での微量化学物質の制御技術開発を目指し、実排水例として実廃棄物処分場からの浸出水をサンプルとして、オゾン処理を行った。対象とした排水の電気伝導度は、15.8mS/cmであり、海水並みの塩分濃度が含有されているものである。容量1Lのガラス製ガス洗浄ビンを反応器として、サンプル回分、ガス連続注入とする半回分式での処理実験を行った。流入オゾン濃度は80mgO₃/Lに設定した。処理温度は20°Cに設定した。オゾン注入開始直前から経時的(0,5,10,20,60分後)に採水し、反応経過を観察した。サンプル中の溶存酸素濃度、TOC、UV254、蛍光強度、低級カルボン酸類、アルデヒド類、残留塩素を測定した。

3.結果と考察

淀川水系における POPs 分布特性と流域土地利用の影響に関する基礎的検討を実地調査をもとに行った。図 3 に調査結果例を示す。重回帰分析して得られた原単位値は、Drin 類および DDTs において農用地の土地利用別原単位が正の値となり、Chlordane 類においては都市域の原単位が正の値となった。HCH では、農用地および都市域で原単位が正の値となった。Drin 類、DDTs および Chlordane 類に関しては、過去の使用状況と整合することから、原単位が正の値の土地がノンポイントソースとして寄与していると考えられる。使用禁止後からの期間が長いこともあり、詳細な土地利用区分毎の原単位の算出は困難であったが、土地利用区分を統合して算出した原単位を用いることで、土地利用面積比率から、淀川水系の任意の地点において、オーダーが変わらない程度の精度で POPs 濃度を推定できると考えられる。

同じく淀川水系におけるエストロゲン性物質の挙動と影響因子に関する検討した。下水処理場における調査では、A下水処理場での調査において、標準活性汚泥法およびステップAO法で高い除去率を示した。一方で、AO法およびA2O法では除去率は比較的低く、特にE1およびBPAにおいては濃度が上昇しており、これによりこの2物質の放流水中濃度が初沈流出水濃度よりも上昇していた。また、EE2はいずれの地点においても検出されなかった。流域における調査では、EE2はA下水処理場での調査同様、全ての地点および試料において検出されなかった。淀川の最下流地点である19西島において、高濃度の天然エストロゲンが検出され、この濃度は水生生物に影響を及ぼし得るほどであった。試料間の相関関係については、E3を除いて、SS試料と底質試料の間に相関関係が見られた。これらの調査結果を基に、処理場放流水の負荷量と河川中増加量の比較を行ったところ、E1およびNPにおいては負荷量と増加量の間に相関関係が見られたが、その他の物質においては相関関係は見られなかった。最も負荷量が大きかったA下水処理場のある地点では、両者の間に相関関係が見られた。本研究では、下水処理放流水の負荷量と河川中増加量との関係は明確には見出せなかったが、実際に調査を行ったA下水処理場付近では両者の間に相関関係があった。A下水処理場は処理方式によりエストロゲン性物質の除去率が異なることから、各処理方式による処理水量の最適化により河川中エストロゲン性物質濃度の上昇を抑える効果が期待できる。

また、オゾン処理による、NP、BFAおよびE2の除去特性について示した。送気中オゾン濃度を種々変えて、下水二次処理水をオゾン処理した結果を図4に示す。初期単位TOC当たりのオゾン消費量が1.0mgO₃/mgC₀を超

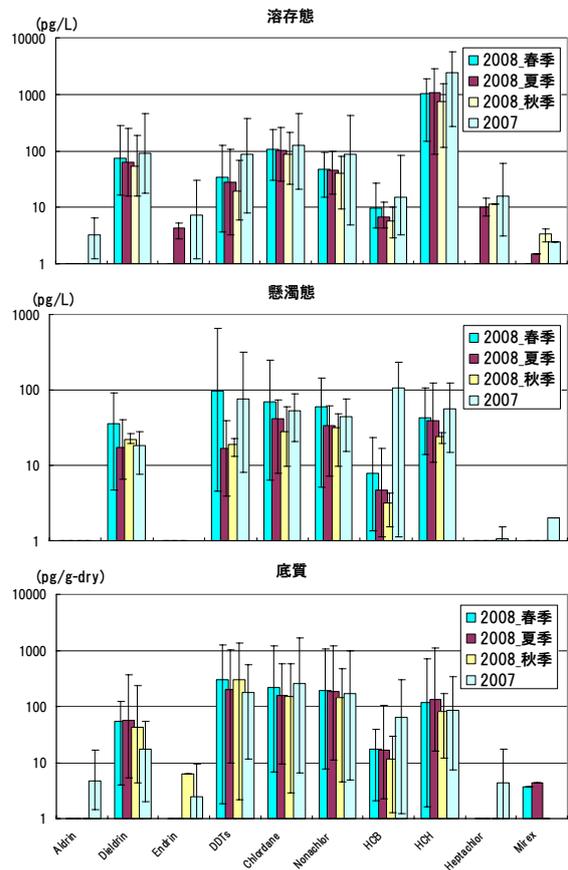


図3 各試料中 POPs 濃度

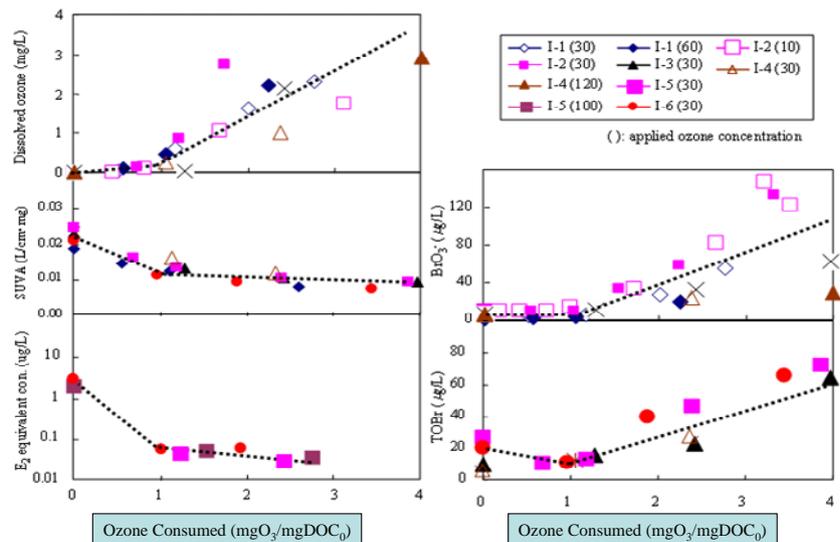


図4 二次処理水のオゾン処理特性

えたあたりでEDCsやUV254は除去が完了し、また溶存オゾンが出現し、そしてその後BrO₃⁻やTOBrといった副生成物が生成されることが示されている。このことから、溶存オゾン濃度の出現までのオゾン処理（初期オゾン消費量までのオゾン処理）によりEDCsの除去を達成し、かつ副生成物を制御しうるオゾン処理が可能なが示されている。初期オゾン消費量のオゾン処理により除去可能で、副生成物のBrO₃⁻の生成も抑制しうるが示された。また、その指標としてUV₂₅₄および蛍光強度指標が有効であり、各々の値は、それぞれ0.06 (1/cm) および35であることを明らかにした。

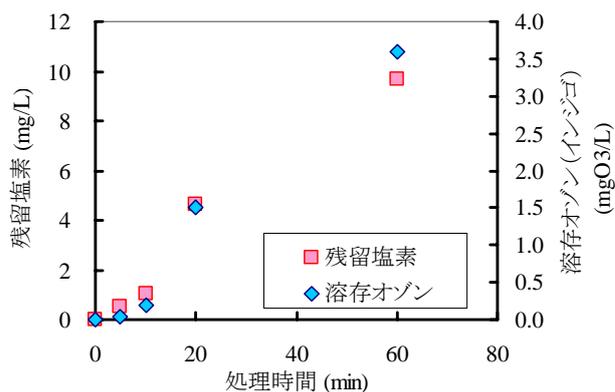


図5 残留塩素と溶存オゾン濃度の経時変化

そして塩分含有廃水のオゾン処理特性について、実際の塩分含有排水である廃棄物埋立地浸出水のオゾン処理特性についての実験結果についてまとめた。高濃度に塩分を含有する廃水のオゾン処理特性を把握するために、基礎的な検討をラボスケールで行った。塩化物イオンの共存下では次亜塩素酸イオンなどと考えられる酸化物の生成が観察されたが(図5参照)、一方で有機物の酸化・低分子化も生じることがわかった。次亜塩素酸の生成は、有機ハロゲン化合物の生成にもつながることから、それらの挙動と併せた操作が求められることが示唆された。

4.まとめ

微量有害化学物質によるリスクを低減させるためには、それらの環境中での動態を把握することが第一歩である。今回の調査結果からは、POPsなどの排出源として廃棄物埋立処分地が明示される結果にはならなかったが、土地利用区分を統合して算出した原単位を用いることで、土地利用面積比率から、淀川水系の任意の地点において、オーダーが変わらない程度の精度でPOPs濃度を推定できると考えられる。一方EDCsの動態における下水処理場のインパクトの大きさが明らかになった。これは逆に言えば下水処理場でのオゾンなどの高度処理技術の導入の有効性を示すものでもある。そのオゾン処理では、塩分を含有した廃水中においても有機物の酸化・低分子化を推進することが出来るが、一方で有機塩素化合物の生成の可能性もあることも示された。今後それらをより詳細にしていけることが求められる。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、関係各位に多大なるご支援を頂きました。ここに記して謝意を表します。

引用・参考文献

- 1) ジーエルサイエンス株式会社: 内分泌攪乱化学物質(環境ホルモン)の分析Ⅲ 1998
- 2) 環境省 保健・化学物質対策: <http://www.env.go.jp/chemi/>

浸透処理型湿地浄化法による最終処分場浸出水の硝化・脱窒処理に関する研究

○中野和典（東北大学大学院工学研究科土木工学専攻）

1. 研究目的

わが国の最終処分場浸出水は 300ppm に達する高濃度のアンモニア性窒素を含む反面、易分解性有機物濃度が低いという特性を有している。その硝化処理には多大な曝気エネルギーを必要とし、脱窒処理には電子供与体となる有機物の添加を必要とするため高コストを要し、高度処理の妨げとなっている。本研究の目的は、ヨシを砂ろ過層に植栽した浸透処理型の湿地浄化法により無曝気かつ有機物無添加で浸出水の硝化・脱窒処理が行えることを実証し、最終処分場浸出水のアンモニア性窒素に対して 90%の硝化・脱窒率を実現できる負荷速度条件を明らかにすることである。高度処理のための面積当たりの許容負荷量が明らかとなれば、湿地浄化法を適用するために必要な面積の算出が可能となる。湿地浄化法は、既存の活性汚泥処理における消費エネルギーや活性炭処理における負担を減らすための前段のプロセスとしても有効である。本研究成果は、最終処分場の規模・立地・浸出水発生量等の条件や目指そうとする消費エネルギー低減率等に合わせて湿地浄化法の適用性を判断する際に有用な知見となるものである。

2. 研究方法

砂ろ過層にヨシを植栽した浸透処理型の人工湿地装置を製作し、無曝気かつ有機物無添加条件で最終処分場浸出水の硝化・脱窒処理を行う実験を実施した。塩化ビニル製容器に 60cm の深さとなるように砂を敷き詰め、その上にヨシを植栽したメソコスムスケール (0.15m²) の人工湿地装置を 4 系列作製し、宮城県S最終処分場敷地内に設置して現地の浸出水を処理実験に用いた。ヨシの耐塩能力と浸出水原水の塩分濃度条件 (約 15,000 mg-Cl/L) を鑑み、本研究では 4 倍希釈した浸出水を人工湿地装置に流入させた。その水質の平均値を表 1 に示す。

人工湿地内部の水位条件は基盤表面からマイナス 5cm とし、湿地基盤 (砂ろ過層) 表面が大気に晒される状態で浸出水の流入を間欠的 (2 回/hour) に行った。このような流入操作により、流入水の浸透に伴い空気が湿地基盤内部に吸引されるようにし、ヨシ根圏ろ床上層部を好気状態に維持して硝化反応を促進することを試みた。また、ヨシ根圏ろ床内ではヨシの光合成産物が分泌されていると考えられ、ろ床内部に還元状態のゾーンが存在すれば、これを電子供与体とした脱窒反応の進行が期待できる。すなわちヨシ根圏ろ床上層部での硝化反応とヨシ根分泌物を利用した脱窒反応の同時進行が期待できる。そのような観点により、最終処分場浸出水中のアンモニア性窒素に対して 90%の硝化・脱窒率が見込める負荷速度条件 (浸出水流入速度) の特定を試みた。採水は 2 週間毎に行い、総窒素濃度、アンモニア態窒素、NO_x態窒素、COD 濃度、pH の各水質項目についてモニタリングを実施した。

連絡先: 980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院工学研究科 中野和典
Tel.022-795-7472 E-mail:knakano@eco.civil.tohoku.ac.jp

キーワード: 埋立地浸出水, 人工湿地, 硝化, 脱窒, ヨシ

3. 実験結果

最終処分場浸出水を 120 日間以上人工湿地装置に連続流入させ、硝化率と脱窒率(窒素除去率)をモニタリングした。0.15m³/m²/dおよび 0.06m³/m²/dの水面積負荷速度で連続流入させた際の結果をそれぞれ図 1 および図 2 に示す。図 1-aに示されるように負荷条件 0.15m³/m²/dでは、硝化率はゆっくりと向上する傾向となり、90 日目以降から実験を終了した 120 日目まで硝化率 90%が維持できたことから、本研究に用いた4倍に希釈した浸出水の条件(平均 70mg-NH₄-N/L, 3,768 mg-Cl⁻/L)では 0.15m³/m²/dの負荷条件において、無曝気的人工湿地により 90%程度の硝化処理を実現できることが確かめられた。硝化率が 90%に達している時期の処理水のpHは 4 程度であり、90 日目以降の硝化率が安定して 90%以上の値が維持されていた反面、それ以上の硝化率が得られなかった原因が、硝化の進行によるpHの低下にあると考えられた。処理水pHの低下は、硝化反応に伴うpHの変化を緩衝する効果が失われていることを示しており、硝化に伴って放出されるプロトン量に見合ったアルカリ度が浸出水に含まれていないことが原因として考えられた。

表 1 人工湿地に流入させた浸出水の平均的水質

水質項目	濃度
T-N (mg-N/L)	79.16 ± 14.46
T-P (mg-P/L)	0.19 ± 0.17
NH ₄ -N (mg-N/L)	70.05 ± 12.69
Cl ⁻ (mg-Cl ⁻ /L)	3766.7 ± 583.1
COD (mg/L)	46.7 ± 7.2

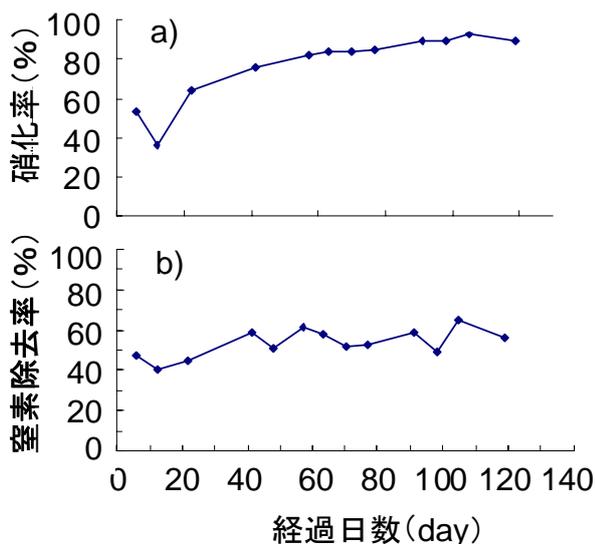


図1 無曝気かつ有機物無添加の条件下で浸出水を0.15 m³/m²/dの負荷条件で流入させた人工湿地装置の窒素除去性能。a)硝化率の経時変化。b)窒素除去率の経時変化。

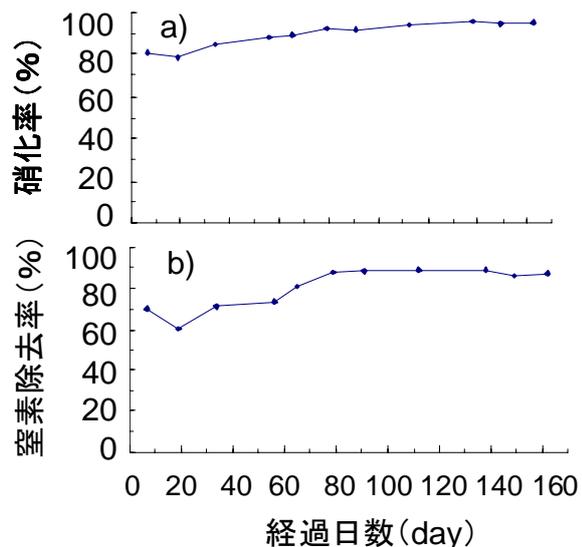


図2 無曝気かつ有機物無添加の条件下で浸出水を0.06 m³/m²/dの負荷条件で流入させた人工湿地装置の窒素除去性能。a)硝化率の経時変化。b)窒素除去率の経時変化。

一方、負荷条件 $0.15\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ での窒素除去率は、図1-bに示されるように時間とともに大きく改善される傾向とはならず、30日目以降の平均で54%程度であった。これらの結果より、間欠流入方式を採用した浸透流型の人工湿地において4倍希釈の浸出水を $0.15\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ の負荷条件で流入させた場合には、脱窒反応が律速となって窒素除去率が制限されることが示された。

図2-aに示されるように、負荷条件を $0.06\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ とした場合には、硝化性能は当初から高い傾向を示したが、硝化率が90%に達したのは79日目以降であった。特に138日目以降では95%を超える硝化率が観察されるようになり、負荷条件を $0.06\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ まで低下させることで、無曝気の人工湿地において安定的に浸出水の硝化処理が行えることが示された。さらに図2-bに示されるように窒素除去率は20日目以降から向上し、79日目以降では88%前後の高い除去率で安定していた。これらの結果により、硝化率と比較すると窒素除去率がわずかに低いものの、一連の硝化・脱窒反応が実現できていたことが示され、本研究で明らかにすることを目標としていた最終処分場浸出水中のアンモニア性窒素に対して90%の硝化・脱窒率が見込める負荷速度条件が凡そ $0.06\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ であることが分かった。

4. 考察

4.1 脱窒反応におけるヨシの役割

最終処分場の浸出水に含まれる易分解性有機物濃度は低く、本研究で流入させた浸出水のCOD値はおよそ $50\text{mg}/\text{l}$ 前後であった。これに対し総窒素濃度は $80\text{mg}/\text{l}$ 前後であり、脱窒を完結できるC/N比として全く不十分であり、さらにヨシ根圏ろ床の好気ゾーンでの有機物の分解を想定すると、全く脱窒が進行しないことが予想された。しかし、 $0.15\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ の負荷条件で浸出水を流入させた実験系列において54%の窒素除去率が得られたことから、ヨシの根から分泌されたと考えられる有機物が脱窒の進行に大きな役割を果たしていることが示唆された。硝化率が90%以上で安定していた期間における試算では、54%の窒素除去率を達成するために必要とされる有機物量の94%程度がヨシ根分泌物由来であることが推察された。ヨシ根より供給され脱窒反応に利用されたと考えられる有機物量は 1m^2 の人工湿地面積で1日当たり 16.1g-COD に相当する量と推算された。砂ろ過層内のヨシ根圏環境が硝化反応が進行するような好気状態であることを考慮すると、ヨシ根から放出された有機物は好氣的生物分解にも晒されていると考えられ、実際にヨシ根から放出されている有機物の全量はこの値よりも大きいと考えられる。

$0.06\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ の負荷条件で浸出水を流入させた実験系列においても同様に脱窒に関わる有機物についての物質収支の試算を行ったところ、硝化率が95%で安定していた期間における試算では88%の窒素除去率を達成するために必要とされる有機物量の98%程度がヨシの根より供給されていることが推察された。 $0.06\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ に負荷条件を低下させることで窒素除去率が大きく改善された要因は、脱窒反応に必要な電子供与体が充足されたためであり、窒素負荷量とヨシ根から分泌される有機物量のバランスを取ることで易分解性有機物に乏しい浸出水であっても十分に硝化・脱窒の一連の反応を推進できることが実証できた。ヨシ根より供給され脱窒反応に利用されたと考えられる有機物量は 1m^2 の人工湿地面積で1日当たり 11.5g-COD に相当する量と推算された。 $0.06\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ および $0.15\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ の負荷条件で推算したこれらの値は、ヨシ根からの有機物の供給量の報告例(11.3 から 15.2g

-COD/m²/dの範囲)とほぼ一致しており, ①窒素除去はすべて脱窒反応によるものとし, さらに②流入水と処理水のCOD値の差分がすべて脱窒反応に利用され, 脱窒に利用された有機物量の推定値との差分がヨシ根圏から放出された有機物で補われるとする二つの仮定のもとで行った本研究の推算はほぼ妥当であったと言える。

4.2 90%の窒素除去率を達成するために必要な人工湿地面積の原単位

本研究で用いた4倍希釈した浸出水の場合では, 凡そ0.06m³/m²/dの水面積負荷速度で浸出水を人工湿地に流入させることにより, 面積当たりの窒素負荷速度が, 人工湿地のヨシ根圏からの有機物供給量に見合った負荷量となり, 一連の硝化・脱窒反応をほぼ完結できることが示された。この0.06m³/m²/dの水面積負荷速度での窒素負荷速度を人工湿地面積あたりの負荷速度に換算すると4.6g-N/m²/dとなり, 面積あたりの窒素除去速度は4.2g-N/m²/dであった。

0.06m³/m²/dの水面積負荷速度を浸出水処理量あたりの人工湿地面積に換算すると16.7m²/m³/dとなり, 本研究で使用した4倍希釈の浸出水に対して90%の硝化・脱窒率を達成するための人工湿地面積の原単位は16.7m²/m³/dと求められた。仮にこの原単位で100トン/dayの水量に必要な面積を試算すると1670m²(40.9m四方)となる。埋立地上や最終処分場敷地内にこの程度の面積を確保することが可能であれば, 既存の活性汚泥法等による好氣的処理を人工湿地により代替することで, 活性汚泥処理の曝気操作に要するエネルギーや活性炭処理への負担を低減することができる。本研究で人工湿地装置を設置したS最終処分場のケースでは, 十分に実現可能な面積であった。

本研究で明らかにした90%の窒素除去率を達成するために必要な人工湿地面積の原単位は, 有機物無添加を前提とした場合の値である。人工湿地のヨシが分泌する電子供与体の不足分を人工的に補う操作を付け加える場合には, 人工湿地の必要面積の削減が可能である。硝化と同時に脱窒反応が進行すれば, アルカリ度不足によるpHの低下と硝化反応の抑制が緩和される効果が期待できるため, 有機物無添加で硝化率が90%に達した負荷条件0.15m³/m²/dは, 有機物の添加を前提とするならば90%の窒素除去率が達成できる負荷速度条件として十分に有望である。電子供与体の不足分を補うことを前提とすれば必要面積の原単位は6.7m²/m³/d程度まで削減できると考えられる。

5. 結論

本研究により, ヨシを砂ろ過層に植栽した浸透処理型の湿地浄化法により無曝気かつ有機物無添加で最終処分場の浸出水の硝化・脱窒処理が行えることが実証できた。本研究で用いた4倍希釈の浸出水中のアンモニア性窒素に対して90%の窒素除去率が見込める負荷速度条件は凡そ0.06m³/m²/dであり, この条件における単位面積当たりの窒素除去速度は4.27g-N/m²/dであった。90%の硝化率が見込める負荷速度条件は0.15m³/m²/dであり, 一連の硝化・脱窒反応を完結できるか否かは, 流入させる浸出水の窒素負荷とヨシ根から分泌される有機物量とのバランスに依存した。人工湿地に植栽したヨシの根圏から分泌される有機物のうち約12g-COD/m²/dに相当する量が脱窒反応における電子供与体として利用されていることが推察された。本研究で使用した4倍希釈の浸出水に対して90%の窒素除去率を達成するための人工湿地面積の原単位は16.7m²/m³/dであったが, 電子供与体の供給により必要面積はその2分の1以下に削減できると考えられる。