海面最終処分場の課題と役割 一フェニックス事業を題材として一

- 1. 趣旨説明 相乗り型の最終処分事業における構造的問題と今後の改善 大阪工業大学 工学部 環境工学科 教授 渡辺 信久
- 2. フェニックス事業の概要及び廃棄物の受入体制について 大阪湾広域臨海環境整備センター 常務理事 尾川 毅
- 3. 生物検定法によるダイオキシン類測定 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 主任研究員 鈴木 剛
- 4. 最終処分場における物質変換と安定化について 北海道大学大学院 工学研究院 准教授 東條 安匡
- 5. 海面最終処分場の構造・管理そして役割 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 主任研究員 遠藤 和人
- 6. 排出事業者としての取組 (討論のみ)

和歌山市 市民環境局環境部 部長 和田 年晃

2016年9月27日(火)~29日(木) 和歌山大学

主催: 廃棄物資源循環学会 後援:和歌山県 和歌山市 和歌山大学

趣旨説明 一相乗り型の最終処分事業における構造的問題と今後の改善一

〇 (正)渡辺信久 大阪工業大学

1. はじめに

最終処分は、廃棄物処理とその後の自然還元を完結させる重要なプロセスである。人間活動の残渣を、無機化・ 安定化・無害化させ、自然の一部とするものである。大阪湾広域臨海環境整備センター(以下、「フェニックスセンター」と略称する)はその技術的知見に基づき、関係者の協力のもとで、埋立物を積極的に利用するものである。

近年、環境汚染性に注目が集まる事案があった。排出事業者との関係性の変容が招いたものと考えられ、再度、全体スキームを再確認する必要が出てきた。一方で、一般住民の「ごみついて知りたい」という知的欲求、また有害性についての認識の変化(天然由来の有害物とリスクへの対応)という外部条件の変化も見られる。

ここでは、過去の経緯を踏まえ、外部条件の変化の兆しを加味し、今後の相乗り型の最終処分事業のありようについて議論する題材と方向性について述べたい。

2. 歴史的経緯

フェニックスセンターの歴史は、「1976年の運輸省の構想発表」から説明が始まるが、その前から、多くの周辺自治体は収集した廃棄物の処理・処分に苦慮していた。焼却施設の立て替えで、隣接用地の掘削で焼却灰が掘り出されることがある。その灰は、以前、焼却施設から排出される灰を持って行く先が見つからず、やむなく、隣接地を利用したものと思われる。都市化した地域で、そのような空間が十分にあるはずもなく、最終処分場のニーズは共通の課題であった。

一方で、高度経済成長の時代にあって、港湾開発・土地取得の将来ニーズがあり、この両者をマッチングさせたものが「フェニックス計画」であり、「周辺自治体が土地造成の資材を持ち寄る事業」であった。その意識は、当時の周辺自治体の廃棄物担当者にも共有され、搬入廃棄物の環境安全性には、最終処分場管理者が定める基準を当然のものとして積極的に受け入れる気運があったものと思われる。

3. 搬入管理のありかた

最終処分場に搬入される廃棄物を資材としてとらえることから、搬入物の環境安全性は特に重要であり、重金属の溶出性について安全性を確認する体制をとってきた。しかし、年月が経過し、排出事業者としての自治体側で担当者が交替するうちに、「廃棄物を受け入れてくれるところの基準に適合すればいい」という考え方に変わっていったものと思われる。ましてダイオキシン類については、計測に時間と多額の費用を要するため、定期測定の結果をもっ

【連絡先】〒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 渡辺信久

Tel: 06-6954-4407 FAX: 06-6952-6197 e-mail: nobuhisa.watanabe@oit.ac.jp

【キーワード】大阪湾フェニックス、海面最終処分、搬入チェック

て判断することになる。しかし、「適合するデータが得られるまで再測定を行う」事例が見られたため、安全性確認の 頻度を高めることとした。この一連の搬入管理から「フェニックスセンターは厳しい」という意識の形成につながった。 とりわけダイオキシン類については、安全側の情報を低廉・迅速に得るために生物検定法を適用することとなった が、その意義、すなわち環境安全性を積極に保つためであることを、関係者が十分に理解・共有する必要がある。こ の件について、もう少し踏み込んだ議論を、コラム1にまとめた。

コラム1 生物検定法の意義

2015年度においては、生物検定法での計測のみならず、相当数の試料において、GC-MSでの計測も同時に行った。その結果、種々の焼却施設から発生する焼却灰・飛灰に対して、ダイオキシン類をGC-MSと生物検定法で同時にデータを採取することとなった。特徴的に明らかとなったことは、

- 1) GC-MSによる計測値より、生物検定法による計測値のほうが、やや高めの値になる;
- 2) 流動床式ガス化溶融炉での炉底部廃棄物では、ストーカー焼却炉の灰より、フラン類に富む;
- 3) 生物検定法は、ジオキシン類よりフラン類に鋭敏に反応する(このことは、すでにわかっていた)

である。都市ごみの焼却施設では、通常、フラン類の量がジオキシン類のそれを上回ることから、1)の傾向から、「生物検定法で基準をクリアしておけば、GC-MSでの計測でも問題はないだろう」という安全側の見方ができるのである。なお、流動床式ガス化炉では、生物検定法とGC-MS計測値での乖離が大きくなるため、計測方法に一定の選択の余地が保たれている。

ところで、この一連の調査のなかで、基準である3 ngTEQ/gを上回りながらも、「旧施設であって、薬剤処理をしているから適用外」という扱いを受けている施設が、未だに存在していた。法的問題はないが、2000年前後のダイオキシン類対策の経緯を知らない若い世代には奇異に映る。

4. 港湾管理者との関係

歴史的経緯の部分でも触れたが、フェニックス事業は港湾での埋立・土地造成事業としての位置づけである。埋立完成後には、最終処分場を廃止し、供用を開始する必要がある。ガスが発生せず、水質と地盤が安定化している必要がある。覆土と植栽で公園的な利用をするだけではなく、構造物にも対応することが望ましい。従って、埋立用資材としての一定の性能が求められるのである。港湾管理者側も、資材として廃棄物を使用している事情を理解しているわけであるが、資材の品質を保つ最大限の努力を期待するのは当然のことである。

5. 構造的課題

構造的問題は、排出事業者が、この最終処分場管理者と港湾管理者の関係を認識する必然性がないことである。図1はその状況を説明するものである。ここではとくに、排出事業者としての自治体を中心に描いている。自治体の事務である廃棄物の処理は、一義的には域内の衛生状態を保つこと(および、ごみの減量)であり、住民に対して

も、その観点からの説明をする。しかし、収集した廃棄物を中間処理(焼却)した残渣の搬出先については、その確保に奔走した担当者が去ると、その「ありがたみ」を再認識する構造がない。排出事業者である自治体とその担当者に対して、この「ありがたみ」を研修する機会を定期的に設ける必要がある。

最終処分場を調査研究する我々にも負い目がある。最終処分場について、すくなからずの関係者は、山間地での有機物の緩慢な分解の場のイメージをもっている。その物質移動や変換過程を追うことは学術的興味を喚起するものである。しかし、処分場廃止や跡地利用を十分に配慮した調査研究であったかどうかについては、自省が必要である。

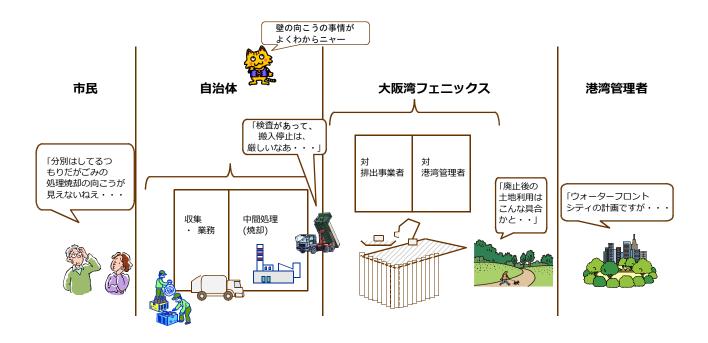


図1 相乗り型の最終処分事業における構造的問題

6. 外部条件の変容

6.1 生活者の全体像を知りたいという知的欲求

一般廃棄物を排出する日本国民は、廃棄物処理を大切なものであるととらえ、ごみ処理場への見学者数は多い。 自治体が窓口であるので、必然的に、焼却施設や分別施設が見学先となるのだが、見学者のすくなからずの人たちは、「残った灰はどうなるの?」と疑問を持つ。一般市民の関心は高く、フェニックスセンターに対する認知度は、年々上昇している。さらに、それが土地造成事業、あるいは社会インフラ事業であることを、一般国民が踏み込んで理解する仕組みをつくることはできないだろうか? 自治体の清掃部局から港湾管理者の事情までを見通すことが構造的に困難であっても、生活者の全体像を知りたいという知的欲求が、それをつなぐ駆動力となる。

6.2 有害性についての認識の変化

有害かどうかを判定する基準は、これまで濃度や量を持って定められてきたが、天然由来のものについては、どう 共存するべきかという議論ができる時代になった。具体的対象物の例は、土壌汚染対策法における天然起源のヒ素 や鉛である。規制や排除とともに、「共存する」という選択肢がある。 もう一つは、リスクに関する考え方である。発がん性化学物質の規制の目安として「生涯過剰発がんリスク10°」を掲げてきたが、自然放射線による被曝や天然起源のヒ素などで、それらを上回るリスクに日常的に接していることが明らかとなってきた。すぐさまに「だから安全だ」という主張をしてはならないが、どのように整理・受容するのがよいかの議論が可能な状況になるであろう。

7. 今後の見通し

7.1 土地の活用

「土地造成」の当初には、経済効果のある商業施設や住宅の誘致の構想もあったものと思うが、廃棄物を投入した 履歴があることと、あわせて経済・社会状況を考えると、緑地を中心とした活用が社会的に容認されやすいと考える。 港湾開発としてとらえたときに、投じた資金と回収できる利益にアンバランスが生じることになるかもしれないが、社会 インフラとしての価値を考え直す具体的な題材となるはずである。

7.2 「廃棄物処分場」から「埋立資材持ち寄り事業」へ

廃棄物を中間処理し、環境安全な資材とし、利用可能な土地造成の側面も持ち、持続可能な廃棄物処理を行うことが目標である。新しく、そして永く続く港湾利用の構造を構築せねばならない。そのためには、関係者・担当者の努力だけではなく、一般市民の知的欲求が全体像の共通の理解の推進力となる。フェニックス事業の経緯を見ると、技術的知見は今後もさらに深まり、一方で環境汚染性に対する認識の改善も徐々に進むことが予測される。社会インフラとしての認知も広がり、将来を見据えての廃棄物管理は、実現可能である。

フェニックス事業の概要及び廃棄物の受け入れ体制について

○尾川毅、濱口弘行 大阪湾広域臨海環境整備センター

1. はじめに

大阪湾広域臨海環境整備センター(以下、「センター」という。)は、広域臨海環境整備センター法に基づき、現在の環境省及び国土交通省の認可を受けて、昭和57年に設立された法人である。平成28年9月現在、近畿2府4県168市町村及び大阪湾4港湾管理者の委託を受けて、関係者及び周辺地元の理解と協力の下、4つの海面最終処分場と9つの搬入施設(基地)を整備し、周辺環境の保全を図りつつ、事業を展開している。

事業の最大の特色は、府県域をまたがった廃棄物の広域処理と、埋立てにより造成された土地の港湾用地としての活用であり、センター、地方公共団体及び港湾管理者など多くの関係者が一体となって事業を推進してきた。センターは、設立以来30数年にわたって大阪湾沿岸域の社会・経済活動を支える重要な役割を担ってきている一方で、社会情勢の変化等により、土地利用の観点で課題を抱えているところである。また、近年では、ダイオキシン類の受入基準を超す廃棄物が複数年にわたり持ち込まれるという地域の信頼を揺るがす不適正事案が発生している。

本稿では、センター事業の現状を紹介するとともに、こうした課題等への取組内容や今後の展開について紹介する。

2. 廃棄物の受入状況

廃棄物の受入対象区域(大阪湾圏域)は表1及び図1に示すとおりである。近畿圏の相当な範囲(18,350m²)からの廃棄物、陸上残土等を受け入れている。面積的には全国の5%であるが、人口では16%にまで達している。

表1 受入対象区域の情勢(全国との比較)

| | 大阪湾圏域 | 日本(全国) | 割合 |
|------|-----------------------|------------------------|-------|
| 自治体数 | 2府4県 168市町村 | 47 都道府県 1,727 市町村 | 9. 7% |
| 面積 | $18,350 \text{ km}^2$ | $377,950 \text{ km}^2$ | 4.9% |
| 人口 | 20 百万人 | 128 百万人 | 15.6% |

※平成22年国勢調査に基づく

こうした広域的な廃棄物を受け入れるための搬入施設 (基地)の整備状況は表2に示すとおりである。大阪湾周 辺の9か所に順次整備し、その後背圏の区域からの廃棄物 を受け入れるとともに、海上輸送により、最終処分場にて 埋立処分している。

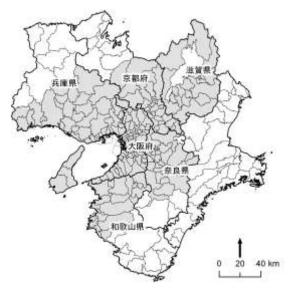


図1 受入対象区域(図の灰色部分)

表 2 搬入施設(基地)の整備状況等

| 区分 | 搬入施設 | 受入開始 | 現在の処分先 |
|-----|-------|--------------|-----------------|
| | 尼崎基地 | 平成2年1月 | |
| | 播磨基地 | 平成2年7月 | |
| 兵庫側 | 津名基地 | 平成3年1月 | 神戸沖 (海上輸送) |
| | 神戸基地 | 平成4年3月 | |
| | 姫路基地 | 平成 13 年 12 月 | |
| | 大阪基地 | 平成4年1月 | |
| 大阪側 | 堺基地 | 平成4年3月 | 泉大津以外:大阪沖(海上輸送) |
| 八败侧 | 泉大津基地 | 平成4年3月 | 泉大津:泉大津沖(陸上輸送) |
| | 和歌山基地 | 平成8年9月 | |

【連絡先】〒530-0005 大阪市北区中之島 2-2-2 大阪中之島ビル 9 階 大阪湾広域臨海環境整備センター Tel: 06-6204-1721 FAX: 06-6204-1728 e-mail:ogawa-t@osakawan-center.or.jp

【キーワード】大阪湾フェニックス事業、広域処理、海面埋立、早期廃止、受入検査、災害廃棄物

埋立の進捗状況は、表 3 に示すとおりである。1 期事業の尼崎沖埋立処分場と泉大津沖埋立処分場については、管理型区画と安定型区画に分けて整備したが、管理型廃棄物の受入は平成 13 年度末をもって終了し、安定型区画においても 90%以上の進捗率となっている。約半分の面積は、公有水面埋立法に基づく竣功認可を受けて、港湾管理者の用地となり、太陽光発電などの土地利用が一部なされている。2 期事業の神戸沖埋立処分場と大阪沖埋立処分場については、管理型区画として整備し、1 期の処分場を引き継ぐ形で、管理型の廃棄物を中心に受け入れている。

埋立量の推移は図 2 に示すとおり、平成 7 年度をピークに減少傾向にあり、平成 27 年度の埋立量は 108 万 m^3 、 174 万トンであり、平成元年度からの通算の埋立量は、5,880 万 m^3 、9,995 万トンである。

なお、平成7年1月の阪神淡路大震災には、1期の処分場に約300万トンの災害廃棄物を処分した。

| 事業区分 | 最終 処分場 | 埋立開始 | 区画名 | 面積 (ha) | 計画量 (万m³) | 埋立量 (万m³) | うちH27 実績 | 残容量 (万m³) | 進捗率 (%) | 竣功済 面積(ha) |
|---------|-----------|------------|------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| | | | 管理型 | 33 | 478 | 474 | 5 | 4 | 99.1 | 16.2 |
| | 尼崎沖 | 平成2年1月 | 安定型 全体 | 80 113 | 1,100 1,578 | 1,076 1,550 | 11 16 | 24 28 | 97.8 98.2 | 39.5 55.7 |
| 1期 | | | 管理型 | 67 | 1,080 | 1,038 | 0 | 42 | 96.1 | 52.1 |
| | 泉大津沖 | 大津沖 平成4年1月 | 安定型 | 136 | 2,000 | 1,854 | 21 | 146 | 92.7 | 62.3 |
| | | 全体 | 203 | 3,080 | 2,892 | 21 | 188 | 93.9 | 114.4 | |
| 2期 | 神戸沖 | 平成13年12月 | 管理型 | 88 | 1,500 | 1,073 | 21 | 427 | 71.5 | |
| 2#1 | 大阪沖 | 平成21年10月 | 管理型 | 95 | 1,398 | 365 | 50 | 1,033 | 26.1 | |
| 1期 | | 管理型 安定型 | 283 216 | 4,456 3,100 | 2,950 2,930 | 76 33 | 1,506 170 | 66.2 94.5 | | |
| + 2期 | . – - | | 全体 | 499 | 7,556 | 5,880 | 108 | 1,676 | 77.8 | |

表 3 埋立の進捗状況

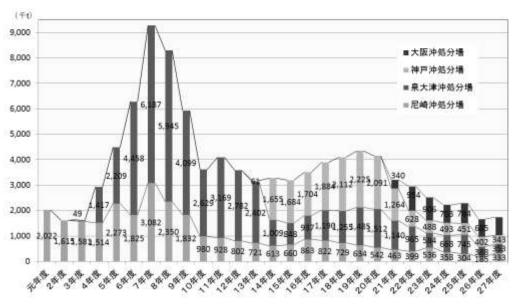


図2 埋立量の推移

3. 課題への取組

3. 1 早期廃止・早期土地利用

従前は単なる届出制であった最終処分場の廃止について、一層の適正処理を進めるため、平成9年の廃棄物処理 法の改正により、最終処分場の設置者は、当該最終処分場の状況が国の定める技術上の基準(廃止基準)に適合し ていることについて都道府県知事の確認を受けたときに限り、当該最終処分場を廃止できることとされた。

1 期の尼崎沖、泉大津沖埋立処分場では、保有水等の水質を早期に廃止基準に適合させるため、管理型区画の埋立てを終了した平成 13 年度に平均干潮位の深さに集水暗渠を設置して廃棄物の洗い出し及び水位の低下による好

気的領域の拡大を促進させることとし、徐々に効果が得られてきている項目もあるが、pH については 11 前後で推移し、平成 23 年度に予測調査を実施したところ、廃止基準の上限値 9 に達するのは 100 年レベルの時間を要すると試算されている。

排水処理前に保有水等を一旦貯留している内水ポンドの水質は、pH を含めて概ね廃止基準に適合しており、pH の低下は、雨水等による希釈効果や二酸化炭素による中和効果が考えられ、そのメカニズムの解明に向けて学識者による検討を進めていただいている。環境省が公表した「海面最終処分場の廃止に関する技術情報集」では、内水ポンドを廃棄物処理法上の保有水等集排水設備として残置する場合、内水ポンドからの排出水が廃止確認の対象になることが示された。

また、埋立終了 (閉鎖) から廃止までの期間の長期化への対応として、廃棄物層の上部に法定覆土 (50cm) よりさらに厚い覆土 (厚覆土) を設置することで、法定覆土及びそれ以下の廃棄物層を乱すことなく、ガスや水道などのライフラインや小規模な構造物の設置が可能となり、港湾用地としての利用の促進が図られる。広域臨海環境整備センター法の目的である生活環境の保全、地域の発展に寄与に資する埋立造成として、新たな処分場の整備に向けて、検討を進めていきたい。

さらに、厚覆土の直下全面に透水性の良い砂礫層(全面集水層)を敷設することにより、厚覆土を通じて浸透した雨水の廃棄物層への浸透を抑制しつつ、効率良く集水し速やかに場外に排除することが可能となる。その水質は早期に廃止基準に適合し、港湾用地としての本格的な利用が開始されることとなる。

こうした早期廃止に向けた方式の採用に当たっては、技術的側面のほか、跡地形質変更制度に基づく対応や護岸の強靭化などを通じて十分なコンセンサスが得られるよう、国と連携しつつ慎重に検討を進める必要がある。

3. 2 重層的な検査体制

センターでは、排出事業者との契約に当たっては、年度ごとに分析結果等が添付された契約申込書の提出を求めるなど書類審査を行い、受入基準への適合が確認された廃棄物のみ受け入れている。また、基地に持ち込まれた廃棄物については目視検査を行い、必要に応じて簡易検査・展開検査・抜取検査(化学分析)の受入検査を実施しており、この受入検査により受入基準に適合しない場合は、持ち帰り等の適正な措置を行うこととしている。こうした検査体制の下、内水ポンド中の重金属やダイオキシン類などの有害物質は環境保全上支障のないレベルとなっている。

しかし、平成 26 年度に、構成 168 市町村の1自治体から、数年にわたりダイオキシン類の受入基準を超過した廃棄物がセンターの処分場に持ち込まれるという不適正事案が発覚した。これを受けて、センターでは、排出事業者による再測定の依頼や学識者で構成する委員会での検討など信頼回復に向けた再発防止の取組を進め、平成 27 年度から、一般廃棄物のばいじん処理物については、排出事業者に中間検査と称する年3回の調査を義務付けるととともに、センターにおける抜取検査について、一般廃棄物は2年に1回、産業廃棄物のばいじんは年1回に強化するなど、重層的な検査体制を構築した。

その中で、ダイオキシン類については、廃棄物処理法上の公定法である高分解能ガスクロマトグラフ質量分析法の前段階に、スクリーニング的にダイオキシン類対策特別措置法に基づく簡易測定(生物検定)を導入して、抜取検査の迅速化を図った。導入に当たって実施した実証試験の結果は、図3に示すとおりであり、相関・線形性は良好であった。

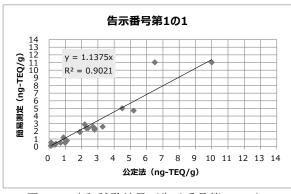


図 3-1 実証試験結果(告示番号第1の1)

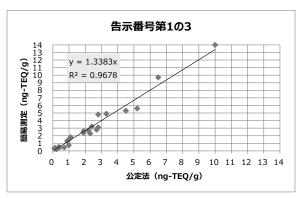


図 3-2 実証試験結果(告示番号第1の3)

なお、簡易測定導入後のフォローアップのため、公定法による機器分析とのクロスチェックを実施していたところ、流動床式ガス化溶融炉のガス化炉底部から排出される廃棄物については、簡易測定による結果が公定法によるものよりも2倍程度高濃度であった。ダイオキシン類の同族体、異性体の分布を見ると、PCDFの占める割合が他の廃棄物よりも高く、簡易測定である生物検定もPCDFに対する反応性が高いことから、高濃度の原因は、この分布の

特異性と推定した。このため、平成 28 年度から、上記の廃棄物については、簡易測定は実施せずに最初から公定法による機器分析を行うことに改めた。

4. 災害廃棄物対策

東日本大震災を契機に国において災害廃棄物対策の更なる検討が進められ、南海トラフ巨大地震の発生時には、これまでセンターが受け入れてきた全廃棄物量1億トンを超える災害廃棄物の発生が試算されている。センターが整備する最終処分場は、こうした災害廃棄物の受け皿として期待されており、大規模災害発生時廃棄物対策近畿ブロック協議会に参画し関係者と連携しつつ、次期計画における災害廃棄物の取り扱いについて、一般廃棄物の容量として余分に確保し、有事に流用出来る位置付けとするなど、廃棄物の位置付け方について引き続き、国と調整を行っていきたい。

5. おわりに

センター又はセンターが行う事業は「フェニックス」と呼ばれている。これは、エジプト神話の中で 500 年ごと に祭壇のうえで自ら焼死し、また幼鳥となって蘇るという不死鳥と、椰子科の観葉植物の 2 つの意味が込められて おり、焼却灰などの廃棄物によって埋め立てられた土地が、緑の大地となって再生することを願って名付けられた ものである。

今後、廃棄物の発生抑制・再資源化が進んでも最終処分量をゼロにすることはできず、近畿圏においては個々の 市町村等による陸域での処分場の設置は困難であり、大規模災害への備えも必要であることを考慮すると、引き続き大阪湾フェニックス事業による広域処分場の確保が必要である。

平成24年3月に策定した現行の基本計画では、平成39年度には全処分場の埋立を終了する見込みとなっており、現在、センターが抱える課題を着実に解決しながら、次期最終処分場を整備し、センター事業の目的である「廃棄物の適正な海面埋め立てよる処理、港湾の秩序ある整備を図り、生活環境の保全及び地域の均衡ある発展に資する」ことができるよう、関係者と力を併せて取り組んでいきたい。

生物検定法によるダイオキシン類測定について

○(正)鈴木剛 国立研究開発法人国立環境研究所

1. はじめに

平成 26 年 5 月、滋賀県高島市がダイオキシン類濃度の受入基準を超過する焼却灰を大阪湾広域臨海環境整備センター(以下「センター」)の埋立処分場に、平成 19 年から平成 25 年までの複数回にわたり搬入していた問題が明らかとなった^[1]。これを受けてセンターは、平成 27 年 3 月に焼却灰の適正な受け入れのための厳格な体制を導入することとした。具体的には、毎年の焼却灰受入の契約更新時の分析結果の報告に加え、新たに排出事業者による年三回の中間検査と、センターによる全数抜取検査を一般廃棄物(焼却灰、ばいじん処理物)で二年に一回、産業廃棄物(ばいじん)で年一回の頻度で実施することとした。センターによる抜取検査に簡易測定法を導入するとともに、排出事業者による中間検査にも簡易測定法の利用を認めることとした。簡易測定法の導入は、着実な受入基準の遵守のための体制強化が目的であり、低廉だけでなく、迅速さが求められるケースでの画期的な適用事例といえる。ここでは、本事案で簡易測定法として利用された生物検定法の概要を述べ、生物検定法によるダイオキシン類測定について述べたい。

2. 生物検定法の導入背景

日本におけるダイオキシン類対策は、平成 11 年 3 月にダイオキシン類対策関係閣僚会議により策定されたダイオキシン対策推進基本指針と、平成 11 年 7 月に議員立法により成立したダイオキシン類対策特別措置法(特措法)を基に進められている。対策の一環として、ダイオキシン類の排出量が調査されており、大気及び水への排出について排出量の目録(排出インベントリー)の整備が継続している。排出インベントリーによると、日本におけるダイオキシン類の排出量は、年々着実に減少している「2」。平成 26 年の排出量は、121~123 g-TEQ となっており、排出インベントリーを取り始めた平成 9 年の約 1.5%にまで減少している。平成 26 年の排出量の 99%以上は大気からの排出であることを考慮すると「2」、現状ではダイオキシン類を発生及び大気中に排出する施設、特措法でいう大気基準適用施設がダイオキシン類の重要な発生源といえる。

特措法においては、ダイオキシン類を発生する施設を特定施設として施設ごとに排出ガスや排出水等を対象としてダイオキシン類の排出基準値が設定されており、基準適用施設等の設置者を対象として排出ガスや排出水中のダイオキシン類の測定が年1回以上義務付けられている。また、排出ガス測定時に併せてばいじん及び燃え殻中のダイオキシン類の測定も義務付けられている。焼却灰やばいじん処理物等の廃棄物のセンター受入基準については、その他埋立処分場と同じく特措法にも準じたものとなっており、ダイオキシン類の測定が必須なものとなっている。一般的に、排出ガス、排出水、ばいじん及び燃え殻を対象としたダイオキシン類の測定については、高分解能ガスクロマトグラフ質量分析計(GC-HRMS)を用いた測定方法によって行われている。GC-HRMS 法によるダイオキシン類測定は、精度良く分析できる半面、多大な時間と費用が必要であり、基準適用施設設置者にとって大きな負担となっていた「3」。

3. 生物検定法について

ダイオキシン類の基準を遵守するための負担を軽減し、ダイオキシン類の長期的管理の基盤となる測定やモニタリングが効果的かつ効率的に行なわれるようにするため、環境省では、ダイオキシン類の簡易測定法の適用可能性に係る技術的検討を行うため、専門家からなる「ダイオキシン類簡易測定法検討会」を平成 15 年 5 月に設置し、生物検定法による簡易測定技術を中心に検討を進めた。検討では、GC-HRMS 法による WHO-Toxic equivalency(TEQ)との比較、定量下限値及び測定値のばらつき等分析方法としての安定性、分析時間及び費用の観点から、個別の簡易測定技術の評価が行われた。結果として、平成 16 年 12 月に特措法施行規則(平成 11 年総理府令第 67 号)の一部を改正して、小型廃棄物焼却炉からの排出ガス(2 トン/時間未満)、ばいじん及び燃え殻に含まれるダイオキシン類の測定の一部に簡易測定法を追加することとなり、平成 17 年 9 月に環境大臣が定める方法として生物検定法を指定するに至った「3」。その後、科学的な知見の集積を踏まえ、平成 22 年 3 月に一部を改正、新たに生物検定法が追加されている。

生物検定法には、ダイオキシン類が生体内で毒性を発現する際に Ah レセプターに結合することを活用

【連絡先】〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 鈴木 剛 Tel: 029-850-2205 FAX: 029-850-2269 e-mail: g-suzuki@nies.go.jp 【キーワード】ダイオキシン類、生物検定法、焼却灰 した Ah レセプターバインディングアッセイ法とダイオキシン類に対して特異的に反応する抗体による抗原抗体反応を活用した抗ダイオキシン類抗体を用いたイムノアッセイ法に大きく分けられる [4]。ダイオキシン類は、細胞内の Ah レセプターに結合して核の中に移行して Arnt と呼ばれるタンパク質と複合体を形成し、DNA 上のダイオキシン応答配列(DRE)に結合して異物代謝酵素のチトクロム P450(CYP1A)等を誘導することで、毒性を発現するといわれている。従って、Ah レセプターバインディングアッセイ法では、法規制上の対象物質であるダイオキシン類だけでなく、ダイオキシン類と同じく Ah レセプターへの結合を介して毒性を発現する臭素化ダイオキシン類や塩素化ナフタレン等のダイオキシン類縁化合物も検出される。一方、抗ダイオキシン類抗体を用いるイムノアッセイ法は、特異的にダイオキシン類の特定異性体を検出するように設計されている。現状では、Ah レセプターバインディングアッセイ法 6 種類(哺乳類細胞を用いるレポータージーンアッセイ法 5 種類と抗 5 種類と抗 5 名 5 5 名 5 名 5 名 5 名 5 名 5 名 5 名 5 名 5 名 5 名 5 5 名 5 名 5 名 5 名 5 名 5 名 5 名 5 名 5 名 5 名 5

表 1 ダイオキシン類対策特別措置法で告示された生物検定法

| 1. Ahレセプ: | ターパインディングアッセイ法 | |
|-----------|--------------------|---|
| 告示番号 | 前処理方法 | 検出方法 |
| 1-1 | 硫酸シリカゲルカラム+活性炭カラム | マウスH1L6.1c2細胞を用いるケイラックスアッセイ |
| 1-2 | 硫酸シリカゲルカラム+活性炭カラム | ヒト101L細胞を用いるP450HRGSアッセイ |
| 1-3 | 多層シリカゲルカラム | マウスHeB5細胞を用いるAh-ルシフェラーゼアッセイ |
| 1-4 | 硫酸シリカゲル加熱還流 | ラットH4IIE-luc 細胞を用いる DR-CALUX アッセイ |
| 1-5 | 多層シリカゲルカラム+アルミナカラム | マウスDXN応答性組換え細胞を用いるDR-EcoScreenアッセイ |
| 1-6 | 硫酸処理+多層シリカゲルカラム | 抗AhR複合体を用いるAhイムノアッセイ |
| 2. 抗ダイオコ | トシン類抗体を用いたイムノアッセイ法 | |
| 告示番号 | 前処理方法 | 検出方法 |
| 2-1 | 硫酸シリカゲルカラム+活性炭カラム | PeCDFs 抗体を使用するダイオクイッカ ー |
| 2-2 | 硫酸シリカゲルカラム+活性炭カラム | Pe&HxCDD/Fs 抗体を使用する EA-テスト |
| 2-3 | 多層シリカゲルカラム+アルミナカラム | PeCDFs抗体を使用するダイオキシンエライザキット |
| 2-4 | 多層シリカゲルカラム+アルミナカラム | 2,3,4,7,8-PeCDF 抗体を使用する KinExA |

4. 生物検定法によるダイオキシン類測定[5]

生物検定法によるダイオキシン類測定は、基本的に GC-HRMS 法と同様に、試料の採取、抽出及びクリ ーンアップを実施する。試料の採取方法や抽出方法は GC-HRMS 方法と同じであるが、抽出液のクリーン アップ方法は検出系によって固有の方法が認められており、低廉性や迅速性を担保するために GC-HRMS 法と比較して簡略化されている場合が多い。生物検定法では、測定原理上、内標準物質と試料中のダイオ キシン類の区別ができないため、内標準物質を添加できないので、回収率補正が実施できない。従って、 良好な回収率を担保するクリーンアップ方法が必要である。当該クリーンアップ法については、開発時だ けでなく、適度な頻度で、内標準物質や既知濃度試料を使用して高い回収率が安定して得られることを確 認することが重要である。検出方法としては、先述の通り Ah レセプターバインディングアッセイ法や抗 ダイオキシン類抗体を用いたイムノアッセイ法があり、哺乳類細胞を用いる方法や抗体等の試薬からなる キットを用いる方法がある。測定に際しては、96ウェル等のマルチウェルマイクロプレートを用いて測定 を行うため、一度に数多くの試料の測定を行うことが可能である。得られたデータ(発光量や吸光度)は 標準物質の検量線と比較され、2,3,7,8-TCDD 等の標準物質等量として算出される。一般的に生物検定法で は、得られた 2,3,7,8-TCDD 等量に、排出ガス及び焼却灰(ばいじん及び燃え殻)に固有の換算係数を乗じ て WHO-TEQ に換算する。換算係数の適用は、生物検定法の適用媒体である小型焼却炉の排出ガス、ばい じん及び燃え殼のダイオキシン類の異性体パターンが、一般的に施設に寄らず類似する傾向であり、 GC-HRMS 法で求めた WHO-TEQ と生物検定法で求めた 2,3,7,8-TCDD 等量が良く相関することに基づく。 図 1 に告示番号 1-1 の生物検定法における小型焼却炉の排出ガス及び焼却灰(ばいじん及び燃え殻)を対 象とした換算係数の算出例を示す^[5]。生物検定法による 2.3.7.8-TCDD 等量を X、GC-HRMS 法による WHO-TEO を Y として、全試料について Y/X を求め、その平均値を換算係数とする。この場合、小型焼却 炉の排出ガスは 0.221 が、ばいじん及び燃え殻は 0.318 が、それぞれ換算係数となる。従って、告示番号 1-1 の生物検定法によるダイオキシン測定では、生物検定法で得られた 2,3,7,8-TCDD 等量にこれら換算係 数を乗じた値が、それぞれの WHO-TEQ と同等な値として評価される。

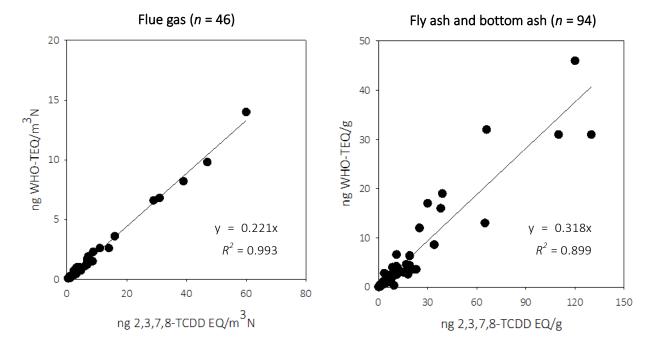


図 1 小型焼却炉の排出ガス及び焼却灰(ばいじん及び燃え殻)の WHO-TEQ と生物検定法(告示番号 1-1) で得られた 2, 3, 7, 8-TCDD 等量 (CALUX-TEQ)

5. 生物検定法で得られる 2.3.7.8-TeCDD 等量と WHO-TEQ の比較考察

図1に示す通り、告示番号1-1の生物検定法による2,3,7,8-TeCDD等量は、GC-HRMS法によるWHO-TEQと比較して、平均して小型焼却炉の排出ガスで5倍弱、焼却灰で3倍強高い値を示す。この差には、原因として主に次の2つのことが考えられる。

1 つめは、生物検定法におけるダイオキシン類異性体の 2,3,7,8-TeCDD 比活性 (REP) ^[6]と、WHO-TEQ を算出する際に使用するダイオキシン類異性体の WHO-TEF (2,3,7,8-TeCDD 比毒性、いわゆる毒性等価係数) ^[7]の差が挙げられる。表 2 に告示番号 1-1 の生物検定法で算出した REP と WHO-TEF を比較した。ここで取り上げるダイオキシン類異性体 21 異性体のうち、14 異性体の REPs は、WHO-TEF と同程度以上である。PCDDs で 1 異性体、PCDFs で 6 異性体、non-ortho Co-PCBs で 2 異性体は REP が WHO-TEF の約 2 倍以上を示しており、これら異性体の WHO-TEQ 寄与割合が高い試料は生物検定法による 2,3,7,8-TeCDD 等量が WHO-TEQ と比較して高くなると推察される。告示番号 1-1 の生物検定法において換算係数を算出する際に対象とした焼却灰中ダイオキシン類異性体の平均 WHO-TEQ 寄与割合 (n=94) は、高い順に、1,2,3,7,8-PeCDD 24%、2,3,4,7,8-PeCDF 17%、1,2,3,6,7,8-HxCDD 7.3%、2,3,4,6,7,8-HxCDF 6.7%、2,3,7,8-TeCDD 6.3%、1,2,3,4,7,8-HxCDF 5.9%、1,2,3,4,6,7,8-HpCDD 5.5%、1,2,3,6,7,8-HxCDF 5.5%、2,3,7,8-TeCDF 5.3%、1,2,3,7,8,9-HxCDD 5.2%であった(WHO-TEQ 寄与割合が 5%以上の異性体のみ)。REP/WHO-TEF 比及びWHO-TEQ 寄与割合を考慮すると、当該焼却灰については、2,3,4,7,8-PeCDF、2,3,4,6,7,8-HxCDF 及び1,2,3,4,6,7,8-HpCDD が、生物検定法による 2,3,7,8-TeCDD 等量と WHO-TEQ の差の一端となっている。

2つめは、臭素化ダイオキシン類や塩素化ナフタレン等のダイオキシン類縁化合物の存在が挙げられる。これらのうち、一部の異性体については、環境中や生体内に残留するだけでなく、先述の通りダイオキシン類と同様に Ah レセプターへの結合を介して毒性発現するといわれている^[8]。生物検定法では、ダイオキシン類以外のダイオキシン類縁化合物を検出しているため、2,3,7,8-TeCDD 等量が WHO-TEQ よりも高くなると考えられる。

表 2 生物検定法(告示番号 1-1)におけるダイオキシン類異性体の 2, 3, 7, 8-TCDD 比活性(REPs)と WHO-TEFs

| | WHO (2006) ^[7] CALUX ^[6] | | REP/TEF | |
|----------------------------|--|---------|---------|--|
| | TEF | REP | KEP/TEF | |
| PCDDs | | | | |
| 2,3,7,8-TCDD | 1 | 1 | 1.0 | |
| 1,2,3,7,8-PeCDD | 1 | 0.73 | 0.73 | |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDD | 0.1 | 0.075 | 0.75 | |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDD | 0.1 | 0.098 | 0.98 | |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDD | 0.1 | 0.061 | 0.61 | |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD | 0.01 | 0.031 | 3.1 | |
| OCDD | 0.0003 | 0.00034 | 1.1 | |
| PCDFs | | | | |
| 2,3,7,8-TCDF | 0.1 | 0.067 | 0.67 | |
| 1,2,3,7,8-PeCDF | 0.03 | 0.14 | 4.7 | |
| 2,3,4,7,8-PeCDF | 0.3 | 0.58 | 1.9 | |
| 1,2,3,4,7,8-HxCDF | 0.1 | 0.13 | 1.3 | |
| 1,2,3,6,7,8-HxCDF | 0.1 | 0.14 | 1.4 | |
| 1,2,3,7,8,9-HxCDF | 0.1 | 0.11 | 1.1 | |
| 2,3,4,6,7,8-HxCDF | 0.1 | 0.31 | 3.1 | |
| 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF | 0.01 | 0.024 | 2.4 | |
| 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF | 0.01 | 0.044 | 4.4 | |
| OCDF | 0.0003 | 0.0016 | 5.3 | |
| Non-ortho Co-PCBs | | | | |
| 3,4,4',5-TCB (#81) | 0.0003 | 0.0045 | 15.0 | |
| 3,3',4,4'-TCB (#77) | 0.0001 | 0.0014 | 14.0 | |
| 3,3',4,4',5-PeCB (#126) | 0.1 | 0.038 | 0.38 | |
| 3,3',4,4',5,5'-HxCB (#169) | 0.03 | 0.0011 | 0.037 | |

まとめ

現状の生物検定法は、GC-HRMS 代替法としての意味合いが強い。生物検定法で得られる 2,3,7,8-TCDD 等量が法規制上の意味を持つ指標となるため、内標準物質による補正ができない中での測定精度の管理や適切な換算係数の設定が重要となる。一方、生物検定法は、ダイオキシン類以外のダイオキシン類縁化合物が検出できる手法であり、スクリーニング法としてダイオキシン類縁化合物の包括的なリスク管理にも適用可能と考えられる。

謝辞

本発表の内容に関わる全ての関係者及び関係機関に謝意を表する。

【参考文献】

- [1] 奥野:環境技術, 44, 362-363 (2015).
- [2] 環境省:ダイオキシン類の排出量の目録(排出インベントリー)(平成28年3月).
- [3] 環境省:ダイオキシン類に係る生物検定法マニュアル(排出ガス、ばいじん及び燃え殻)(平成20年3月).
- [4] 日本機械工業連合会,産業と環境の会:平成17年度環境負荷物質(ダイオキシン類等)の簡易測定技術に関する調査報告書(平成18年3月).
- [5] 中央環境審議会:ダイオキシン類の測定における簡易測定法導入の在り方について(答申)参考資料 7 生物検定法によるダイオキシン類簡易測定法の概要(2016年8月31日閲覧).
- [6] Brown et al: Organohalogen Comp, 53, 211-214 (2001).
- [7] van den Berg et al: Toxicol Sci, 93, 223-241 (2006).
- [8] van den Berg et al: Toxicol Sci, 133, 197-208 (2013).

最終処分場における物質変換と安定化について

○ (正) 東條安匡¹⁾1)北海道大学大学院

1. 物質循環における最終処分場の位置づけ

今日の我々の社会では、自然界から大量の物質が取り込まれ、それらの物質を用いて製品が製造され、製品となったものが利用され、最終的に不要となったものが廃棄される。廃棄後の過程は主に二通りあり、一つは再度我々の社会に物質を戻す過程(人類圏への循環)、そしてもう一つは、自然界に再度戻す過程(自然への返還)である。このうち、後者の自然界への物質の返還がなければ、人類圏の容量は限界に達し、物質で溢れることになる。特に、有害な物質の人類権への蓄積は、適切な管理がなされなければ人類や生態系の脅威となる。したがって、自然への物質の返還は、人類圏からのアウトプットとして不可欠であり、我々は適正な手段でそれを実現させる必要がある。

自然への物質の返還過程は多様である。物質の採取過程、製造過程、利用過程等においても様々な経路によって物質が自然に放出されている。採取過程や製造工程においては、様々な規制・基準に則り、排水、排ガスの処理がなされ、放出そのものが環境に直接影響しないように管理がなされる。しかし、それぞれの処理過程から残渣物(水処理汚泥、排ガス処理残渣等)が発生し、それらは廃棄物となる。一方、利用過程からは、建造物や製品からの溶出、溶脱、摩耗、劣化等により、あるいは農業等による土壌への直接の利用等によって自然への放出が生ずる。これらは管理が困難な無秩序な放出と成り易い。一旦自然に放出された物質は、表面水系に流入し、自然環境中へと輸送されて行く。一部は下水道に到達し、下水処理工程で分離され、下水汚泥として廃棄物となる。こうした物質の放出を考えると、一部の制御不能な自然への放出(返還)があるものの、放出の制御が介在する場合には、その代償として廃棄物が発生している。当然、これらに直接廃棄過程から生ずる廃棄物が加わる。すなわち、廃棄物処理は、これらの廃棄物や残渣物を適切な方法で、人類や生態系に影響を与えること無く、自然へ物質として返還するという最後の砦であり、物質循環において極めて重要な役割を有しているといえる。そして最終処分場もその一役を確実に担っている。

廃棄物処理が自然への物質の返還過程である とすれば、何を、何処に、どのような方法で、ど の程度の時間をかけて還してゆくのかを考える必 要がある。物質を返還すべき自然は物質によって 異なるが、代表的な自然として、気圏、水圏、土 圏のいずれかが対象となる。Brunner¹⁾は、物質に は長期間安定に存在し続ける最も適切な場所が存 在し、それを Safe final sink とする概念を提唱して いる。例えば、最終的に辿り着く最も安定な場所 は、窒素であれば大気であり、塩素であれば海、 重金属であれば地殻や底質であり、時間スケール では 10000 年程度、環境に害を与えること無く安 定して存在できる場所に各物質を安全に還してい くことが必要である述べている²⁾。図1はその概 念を示したものである (Brunner らの図に著者が 加筆)。有機物や有機化合物等は、熱処理により分

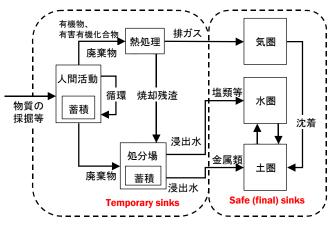


図1 物質循環における廃棄物処理施設と Final sink

解して安定で無害なガスに変換して気圏に返還する(原図では、熱処理に流れる廃棄物は Residual waste とされており、全ての有機系廃棄物を指すのではなく、熱処理に委ねざるをえない有機化合物と解するべきである。当然、生ごみの堆肥化等でその構成元素を適切に自然に還元できる場合には人類圏の循環を介して自然へと放出され、Final sinkへと到達させることができる)。塩類の放出は製造過程等でも生ずるが、廃棄物処理過程に入った塩類は、処分場を介して環境に影響を与えないレベルで水圏へと返還される。同図において、重金属等の無機元素の Safe final sink は土圏となっており、処分場から先まで矢印は伸びている。すなわち、処分場は土圏へと金属類を振り向ける中継施設である。ここで注意すべきは、Safe final sink は、その物質が長期間安定して存在できる場所であることから、通常の土壌に豊富に存在し、処分場周辺の土壌と容易に同化するような無機元素(Si, Al, Fe, Ca 等)は、当然、処分場自体が Safe final sink になり得る。一方で、有害重金属のような無機元素は、処分場周辺土壌とは明らかに異質となるため、処分場は一時的な場(Temporary sink)であり、そこからさらに環境に影響を与えないレベルで土圏へと還していくことが必要である。本稿では、こうした自然(Safe final sink)への返還という観点から、処分場内での物質変換過程を考察し、さらに、海面処分場の自然への物質の返還における役割を考えることとする。

2. 最終処分場での物質変換(有機物の安定化過程)

処分場内での有機物の変換(安定化)過程は、これまで多くの研究者によって明らかにされており、広く知られるところである。特に、従来の有機物が豊富な廃棄物が埋め立てられる場合には、4 段階、或いは 5 段階のフェーズで安定化が進行していくことが知られている。再掲する必要もないとも思われるが、敢えて記述すると以下のとおりで

【連絡先】〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学研究院 環境創生工学部門 東條安匡 Tel:011-706-6828 FAX:011-706-6828 e-mail:tojo@eng.hokudai.ac.jp 【キーワード】Final sink、海面処分場、無機元素、動態 ある。埋め立て直後には、廃棄物中に酸素が存在するために好気性分解が起こる第Iフェーズ、酸素が消費され嫌気的雰囲気になって有機物が酸発酵を起こす第IIフェーズ、急速な酸発酵が終わりメタン発酵が開始する第IIIフェーズ、 次タン発酵が安定的に継続する第IVフェーズ、 微生物によって分解される基質が無くなり外部から大気が進入する第IVフェーズである。

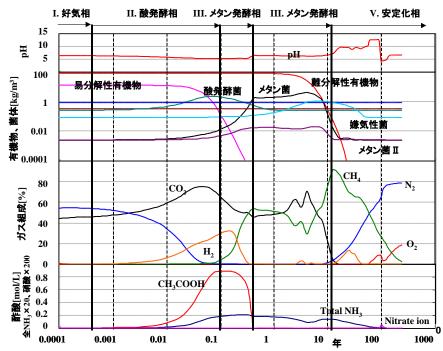


図 2 最終処分場での有機物の安定化過程(モデルによる計算値)

持される環境では長期化する。欧米では、Heyer⁴⁾らが、この長期化問題を指摘し、埋立地の維持管理が完了するには最大 200 年以上要することを予測している。こうした埋立地の維持管理の長期化が次世代への負担となることから、EU では、生物分解性有機物の埋立を削減することを 1999 年の埋立指令 ⁵⁾で目標としたのである。先ほどの自然への物質の変換という考えに立ち戻ると、埋立地に生物分解性有機物を埋め立てても、図 2 に示す通り最終的に分解して(多くはガスとして放出され)、自然に還って行く。従って、自然還元という目的は達成できる。但し、問題は時間スケールである。次世代への負担となる方策は持続可能性を有するとは見なされない。そのため、Final sink の概念では、有機物については熱処理を介して自然に還すというフローが描かれているのである(前述したとおり、熱処理に委ねざるを得ない有機物であり、易分解性の有機物で堆肥化等により容易に構成元素の自然還元が可能なものはそれらに委ねるというオプションが存在する)。加えて生物非分解性のプラスチック等の有機化合物では、分解は紫外線、酸化等に委ねざるを得ず、更に酸化防止剤等の添加によって埋立地内では分解に長期を要することから、埋立地が Safe final sink への中継地点とは考えられず、熱処理がより妥当であると判断されるのである。但し、熱処理に委ねる場合、高温域で非意図的に合成される有害有機化学物質への対応は当然不可欠である。

生物非分解性有機物は別として、極めて良好な好気的条件に制御された陸上処分場において生物分解性有機物を埋め立てることは(Bioreactor 等)、安定化に要する時間の短縮がある程度可能であると想像される(世界的に一般に一世代(50年)が埋立地の管理終了の目標とされる)。一方で、海面処分場では嫌気的雰囲気に曝されることが不可避であることから、安定化の長期化は不可避であり、有機物の埋め立ては回避されるべきである。今日、我が国の一般

廃棄物の埋め立て物は、約87%が中間処理残渣であり、有機物含有量は低下している。さらに多くの海面処分場では、産業廃棄物も含めて無機系の廃棄物が埋め立てられている(例えば、神戸沖処分場のこれまでの累計埋立量⁶⁾に占める無機系廃棄物の割合は約8割超である(筆者が搬入物から推計))ことから、有機物の分解に伴う維持管理期間の長期化は現実には回避できていると思われる。

3. 無機元素(特に金属元素)の動態

前述したとおり、埋立地は無機元素の Final sink ともなり得るし、また Safe final sink への経路ともなる。図 3 は、著者が一般廃棄物埋立地の搬入物の金属含有量を分析し、それを埋立量で除して算出した埋立地内の平均的な濃度をプロットしたものである。同図中には地殻の平均含有量であるクラーク数も示した。調査は 3 処分場を対象に行っている。図より、土壌に多く含まれる Ca, Fe, Al 等の埋立地内の濃度は、クラーク数と同等か若干低いのに対し、Zn, Cu, Pb, Sb, Cd, Se といった金属は、クラーク数よりも 1 桁から

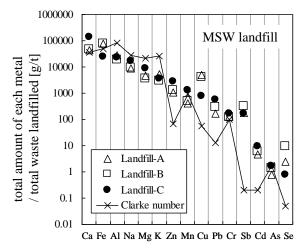


図3 一般廃棄物処分場の重金属濃度

2桁高い。

土壌の主要構成元素は埋立地に長期に留まっても環境に影響を与えることはないことから、Ca, Fe, AI等は埋立地自体が Safe final sink であり、酸化物、炭酸塩等の形態で存在することが安定な状態であると考えられる。例えば、焼却灰中の主要な元素である Ca は、初期には酸化物であるが、水と接触することで急速に水酸化物に変化し、さらに大気中の CO_2 や液中の無機炭酸と反応して炭酸塩に変換され難溶性態となる 7 。

一方、土壌とは異質の元素(特に重金属類)は、埋立地に永久に留めておくことは将来世代への脅威となることから、Safe final sink へ向けた放出が必要となる。但し、当然、大きなフラックスで埋立地外に放出することはできない。小さなフラックスで、ゆっくりと長い時間をかけて Safe final sink へ戻す必要がある。小さなフラックスにするということは、難溶性態にすること、すなわち移動性を低下させることである。既往の研究 8-9)から、埋立地からの重金属類の放出は極めて緩速で、長期間内部に保持され

るていることが明らかになっている。例えば、 $Huber^9$ は 15 年間の埋立地における各種元素の物質収支を観測値と計算から算出し、図 4 のような分配を示している。炭素や窒素、塩素や Na は浸出水やガスから幾分放出が認められるが、Cd, Cu, Pb, Zn, Fe といった重金属類はほぼ 100%埋立地に残存している。そこで、以降において、何故、埋立地内において重金属類の移動性が低下するのかを記述する。

図4は、埋立地内での重金属の難溶性態化の一例である 10)。重金属が可溶性塩から溶出すると、焼却灰などの場合では、pH の上昇により水酸化物の沈殿を形成する。大気の侵入や共存する有機物の分解によって二酸化炭素が介在すると、炭酸塩沈殿となる。さらに、嫌気性雰囲気で十分な硫酸イオンが存在すると硫酸塩還元反応が起こり、硫化物となって沈殿する。硫化物の溶解度は極めて低いため、極端に埋立地内の条件が変化しない限り、長期間、埋立地内に保持されることになる。例えば、土手ら 11-12)は、Cdを対象に硫化物形成による難溶性態化を実験及び数値計算から検討しており、海面埋立地への焼却灰の埋立を模擬した系においても溶存 Cd 濃度の急激な現象が起こることを示している。この難溶性態化は、埋立地内が嫌気的であり、硫酸塩還元反応に至適な条件 (pH、ORP、有機栄養、硫酸塩)が満たされることが条件と

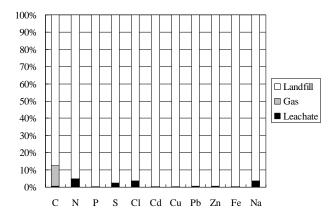


図 4 15 年経過した埋立地での各種元素の放出先(黒:浸出水から、灰:ガスとして、白:層内残存)[文献9を元に著者が再描画]

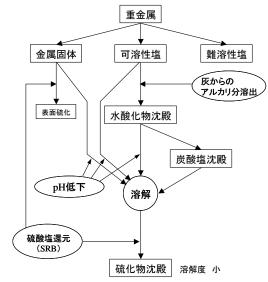


図 4 埋立地内での重金属類の難溶性態化

なる。宮脇¹³らは、実験的検討から、速やかな硫酸塩還元反応には、TOC として 200mg/L 以上が必要であると報告している。海面処分場を想定した場合、埋立層内は嫌気的であり、内水ポンドを形成する海水中には硫酸イオンは豊富に存在する。但し、今日の埋立物のように無機物が主体となり、生物が利用可能な有機炭素が減少した条件下で、硫化物形成が卓越するか否かは議論の余地がある。

一方、焼却灰のような高温条件下で生成した廃棄物は、発生直後には不安定であり、埋立地内で様々な風化作用を経て変質していくことが報告されている $^{14-15}$ 。重金属類の難溶性態化に重要な現象は、焼却灰中の Ca が酸化物から水酸化物、さらに炭酸塩に変化していく過程で、多くの金属の溶解度が最も小さい Ca かり (こ支配されること (高 Ca 6 月 4 年下での水酸化物形成)、浸出水から Ca 7 ルミノシリケート水和物等が再結晶化したりガラス状非晶質相が形成されて拘束されること、鉄酸化物やアルミ水酸化物物等への吸着や共沈が起こること、表面錯体や固溶体の形成、さらに、様々な新生鉱物中に包含されること Ca 6 空隙の閉塞や固結による移動経路の減少、腐植との錯体形成等であるとされている。こうした風化変質は、大気との接触、雨水の浸透によってより進行することから、陸上処分場で起こることは容易に推察される。一方、海面処分場のような水封された条件下で、どのような風化変質が進行するのかを検討した例は無く、今後の検討課題であると思われる。

海面処分場内の重金属に特に焦点をあてた研究としては、例えば、乾らは、カラム試験とバッチ試験から重金属 (Zn, Pb, Cd) の移動性を検討している 17 。その結果、Pb, Zn については、鉄・マンガンの水酸化物に吸着している形態や 有機物または硫化物に吸着している形態であることを明らかにし、移動性は非常に低いと結論づけている。

上述してきたとおり、重金属類は埋立地内で難溶性態化し、急激な放出は起こり難い。最終的に空気の浸入(図 2)が起こりえる陸上処分場では、硫化物形成によって難溶性態化した重金属の再溶出(硫化物の酸化)が起こる可能性は否めないが、逆に上記した風化変質によって放出抑制が達成される可能性は多分にある。一方、海面処分場の場合、ほぼ永久的に嫌気的雰囲気(還元雰囲気)を期待できることから、硫化物態での安定性は長期間保証される。速やかな硫化物形成が有機炭素の不足や高 pH によって抑制されたとしても、豊富な硫酸塩や長期的な有機炭素源の供給等があれば一般の底泥で認められるような硫化物形成が生ずることが期待される。ただし、陸上処分場に較べ、海面処

分場における重金属類の長期動態や存在形態(化学種)に関する研究報告は少なく、今後、実際の埋立物のボーリングコア中の重金属の形態別分画や、その存在形態に関する環境条件、共存物質に基づく地球化学的な解釈、そして長期安定性の予測などが重要な研究課題となると思われる。

Final sink の概念に基づけば、重金属類の最終的な到達地点は地圏であり、Brunner は例として、"Final Sink may consist of an underground salt mine, an ocean sediment or a place on the globe where sedimentation processes prevail erosion processes."と記しており ¹⁸⁾、海面処分場に極めて近い条件の底泥が Safe final sink とされている。無論、堆積したものからの再可溶化が起こらないことが大前提となるが、埋立初期より水封され、海水と接触し、嫌気的雰囲気が形成される海面埋立地において、一度難溶性態化した重金属類が、例えば、遠い将来に遮水護岸が崩壊し、外部の海水が埋立地内に侵入した場合に、急激に再可溶化することが起こるだろうか?このシナリオで、廃棄物が存在している場の急激な環境変化は想定し得ないのではないか。そのため、筆者は、重金属類に関しては、海面埋立地は Temporary sink よりも Safe final sink に近い要素を有していると考える。

4. おわりに

物質循環における埋立地の役割を自然への物質還元であるとして、埋立地内で起こる物質変換過程、安定化過程について有機物、重金属を対象に考察した。特に、海面埋立地を想定した場合、有機物の埋立は手段として適正でないこと(維持管理の長期化の問題から)、無機物については、長期間安定に保持できる可能性があること、特に重金属については Safe final sink に近い要素を有していることを示した。

陸上処分場に較べ、残念ながら海面処分場内部での物質挙動に関する研究は少ない。海面埋立が日本独自の技術であるために、海外での研究はほぼ皆無である。したがって、本稿のように処分場内での挙動を論ずる場合、陸上処分場を対象に解明されてきた成果から推論せざるを得ない。それ以外は、底質・底泥中の物質挙動等に関する研究に情報を求めることになる。陸上処分場の建設が困難になってきている今日、海面処分場は、今後の我が国の廃棄物処分において重要な役割を担っていくものと考えられる。そのために、我々は研究者として今一度この処分場に目を向け、現象解明に尽力することが重要であると痛切に感じる。

参考文献

- 1) P. H. Brunner and J. C. Tjell: Do we need sinks?, Waste Management & Research, Vol.30(1), pp.1-2 (2012).
- 2) U. Kral and P. H. Brunner: The incorporation of the "final sink" concept into a metric for sustainable resource management, Proceedings of the 2nd International Conference on Final Sinks, (2013).
- 3) S-Y. Kim, Y. Tojo, T. Matsuto: Compartment model of aerobic and anaerobic biodegradation in a municipal solid waste landfill, Waste Management & Research, Vol.25, pp.524-537, (2007).
- 4) K.-U. Heyer, K. Hupe, R. Stegmann: Landfill aftercare scope for actions, duration, costs and quantitative criteria for the completion, SARDINIA 10th International Waste Management and Landfill Symposium, (2005).
- 5) European Union Council Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste: http://ec.europa.eu/environment/waste/landfill/pdf/annexes_a1.pdf (accessed 2015-11-22)
- 6) 平成 2 8 年度神戸沖処分場管理型区画埋立処分量、http://www.osakawan-center.or.jp/images/2807_eturan_ukeir eryou_koubeoki.pdf
- 7) Y. Tojo, M. Ishii, T. Matsuto, T. Matsuo: Study on the influence of solidification of MSWI bottom ash on the emission of easily mobile elements, 2nd International Conference on Final Sinks, (2013).
- 8) P. Baccini, G. Henseler, R. Figi, and H. Belevi: Water and Element Balances of Municipal Solid Waste Landfills, Waste Management Research, Vol.5, pp.483-399 (1987).
- 9) R. Huber, J. Fellner, G. Doeberl, P. Brunner: Water flows of MSW landfills and implications for long-term emissions, Journal of Environmental Science and Health, Vol.39, pp.885–900 (2004).
- 10) 田中信寿:環境安全な廃棄物埋立処分場の建設と管理、技報堂出版、(2000).
- 11) 土手裕,田中信寿,神山桂一:模擬埋立実験による廃棄物埋立層内におけるカドミウムの化学的挙動に関する研究,衛生工学研究論文集,第25巻,pp.21-27,(1989).
- 12) 土手裕,田中信寿,神山桂一:都市廃棄物埋立処分場浸出水中溶存カドミウム濃度の長期的経時的変化に関する研究,衛生工学研究論文集,第 26 巻, pp.49-60, (1990).
- 13) 宮脇健太郎,田中信寿,松藤敏彦:焼却灰炭酸中和溶出液中硫酸塩還元反応に対する灰特性および植種の影響、廃棄物学会論文誌、Vol. 7(6), pp.312-319, (1996).
- 14) J. A. Meima and R. N. J. Comans: The leaching of trace elements from municipal solid waste incinerator bottom ash at different stages of weathering, Applied Geochemistry, Vol.14, pp.159-171 (1999).
- 15) P. Piantone, F. Bodenan, L. Chatelet-Snidaro: Mineralogical study of secondary mineral phases from weathered MSWI bottom ash: implications for the modeling and trapping of heavy metals, Applied Geochemistry, Vol.19, pp.1891-1904 (2004)
- 16) A. Saffarzadeh, T. Shimaoka, Y. Wei, K. H. Gardner, C. N. Musselman: Impacts of natural weathering on the transformation/neoformation processes in landfilled MSWI bottom ash: a geoenvironmental perspective, Waste management, 31(12), 2440-2454, (2011).
- 17) 乾 徹、島岡隆行、勝見 武:海面処分場の現状と将来性 4. 海面処分場の地盤工学上の課題その 2 汚濁物質の挙動と環境評価、地盤工学会誌,61-6(665),pp.58-65,(2013).
- 18) P. H. Brunner and U. Kral: The Need for Final Sinks, From Sanitary to Sustainable Landfilling why, how, and when?, 1st International Conference on Final Sinks, 23rd 25th September 2010, Vienna.

海面最終処分場の構造・管理そして役割

国立環境研究所 (正)遠藤和人

1. はじめに

海面最終処分場は水面埋立地の内、海域に設置された廃棄物最終処分場である。廃掃法制定以降では、昭和48年に設置された中央防波堤内側埋立処分場が始まりであり、昭和50年代には、これ以外に、大阪府堺市築港新町三丁地先、大阪府大阪市此花区地先、岡山県倉敷市水島川崎通地先、福岡県北九州市若松区響町一丁目地先の4カ所が登録されている1。海面処分場には、一般廃棄物処と、産業廃棄物の最終処分場(安定型と管理型)が存在し、一廃と産廃を同時に受け入れている処分場もある。遮断型の海面処分場は存在しない。現在、約80カ所程度の海面処分場が維持管理中である。関東地方、中国地方、九州地方には合計50カ所以上の海面最終処分場があり、全体の7割程度を占めている。北海道には海面最終処分場は無い。

一般廃棄物の海面処分場に着目すると、平成 25 年度実績²で全国に 34 カ所、面積は 653 ha、容量は 128 百万 m³ となっており、処分場全体に占める割合はそれぞれ、2%、15%、28%程度となっている(図 1 参照)。首都圏の 1 都 2 県(東京都、神奈川県、千葉県)に目を向けると、海面処分場が面積で 6 割、容積では 8 割程度を占めており、首都圏において海面処分場の役割が大きいことが分かる。大阪湾圏では、フェニックス計画にしたがった近畿 2 府 4 県 168 市町村の一般廃棄物を広域的に受け入れており、尼崎沖、泉大津沖、

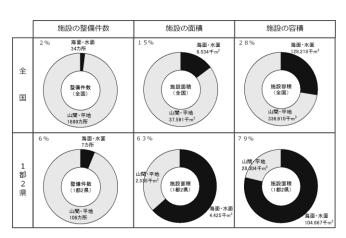


図1:海面処分場(一廃)の整備状況

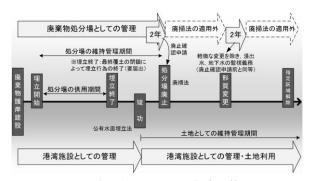


図2:海面処分場に係る制度と管理

神戸沖、大阪沖の4つの処分場で計1,730万m³の容量を確保しており、大阪湾域の廃棄物管理における役割は大きい。

2. 海面処分場とは

海面処分場は先述した通り、海域に設置された廃棄物最終処分場であるが、制度面から見ると少しややこしい。海域に土地を造成することは、公益に資する国土開発を目的とした公有水面の埋立事業となることから、公有水面埋立法にしたがった埋立免許を取得しなければならない(公有水面埋立法第2条)。埋立免許願書には、添付図書として「設計概要説明書」と「埋立てに用いる土砂等の採取場所及び採取量を記載した図書」という欄があり、廃棄物を埋め立てるためには、そこに"廃棄物の種類と量"を記すことになる。つまり、廃棄物は、公有水面埋立における埋立材料の一つという取り扱いになる。願書自体には「埋立地の用途」という欄があるが、それは、土地ができた後の、公共の利益に寄与する土地利用用途を書く欄であるため、廃棄物処分用地という用途は成り立たない。したがって、廃棄物を埋立処分したいという目的では公有水面の埋立は出来ない。

公有水面埋立法は海域に限らず、河川、湖沼の埋め立ても対象にしている事から、水面埋立地と呼ばれる。廃掃法施行令第5条第2項ならびに環整119号(昭和54年)に「水面埋立地の指定について」があり、指定は"主として一般廃棄物又は管理型産業廃棄物の埋め立て処分の用に供される水面埋立地の全部又は一部の区域(区画)について行う"こととなっている。指定されると処分場の設置届けを提出する必要が生じ、廃掃法上の廃棄物最終処分場となる。以上のよ

【連絡先】〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2 国立研究開発法人国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター TEL: 029-850-2228 E-mail: k-endo@nies.go.jp 【キーワード】海面処分場、維持管理、廃止

¹厚生省環境衛生局計画課編集(1980): 廃棄物六法(昭和 56 年度版),中央法規出版,pp. 56-57 ²環境省総合環境政策局環境計画課(2016): 平成 28 年度版環境統計集,第 4 章,185-186

うな手続きを経て海面処分場が建設される(当然ながら、これ以外に環境アセスメント法等も必要である)。

海面処分場は、公有水面埋立法と廃掃法の双方によって規制を受け、水面埋立地と最終処分場の整備・管理が同時進行となるため、その管理主体についても複雑である。特に、公有水面埋立法の「竣功」と廃掃法の「廃止」の時期が問題となる(図2参照³)。廃止されると廃掃法の適用が無くなり、港湾施設としての管理となるが、廃止に時間を要すると、廃止前に竣功を迎えることになり、土地利用(土地としての登記が可能となる)が開始される。港湾会計は、土地の売却益を見込んでいるため、廃止が遅れて土地の売買が出来なければ、会計上の問題が生じることから、処分場の早期廃止が望まれている。

3. 海面処分場の構造

3.1 海面処分場の遮水構造

海面処分場の遮水構造は、陸上処分場と法的な位置 付け(構造基準)は同一であるが、海中に建設するた め、側面は鉛直遮水壁の一つである「廃棄物埋立護岸」 となるのが一般的である (例えば図 3 の鋼矢板遮水 壁)。廃棄物埋立護岸は、昭和48年の港湾法改正に端 を発しており、この護岸自体は廃掃法上の護岸ではな く、港湾法における護岸を指す。そのため、残土類や 浚渫土を材料として用いる埋立地の護岸も廃棄物埋 立護岸である。一般廃棄物や管理型産業廃棄物を埋め 立てる場合には先の指定が行われ、廃掃法が適用され るため、廃棄物埋立護岸に遮水性が求められる。安定 型産業廃棄物の場合は、廃棄物埋立護岸に遮水性は求 められない(図4)。遮水性の廃棄物埋立護岸について は、WAVE のマニュアル4に詳述されているが、鋼矢 板や鋼管矢板の継ぎ手には膨潤性の止水材等が塗布 され、遮水性が確保される。底部の遮水は厚く堆積し た沖積粘土層となる場合が多いが、地域によっては廃 掃法で定められた厚さ5mが確保出来ないため、遮水 シート(比重の大きな PVC 製が用いられることが多 い) や水中打設式の土質系遮水材等が用いられる5。 3.2 海面処分場の築造

「廃棄物埋立護岸」

- 昭和48年の港湾法改正でできた。これは廃掃法 の廃棄物以外の浚渫土砂や陸上残土等の材料に 対しても適用される。
- 廃掃法上の廃棄物を埋め立てる時のみ、最終処分場としての遮水護岸構造が適用される。



外海から遮水護岸で隔離した水面区 画を作って環境保全上の支障が生じ

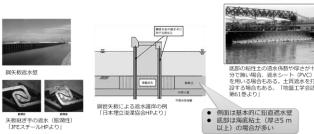


図3:海面処分場の遮水構造

| 埋立類型 | 公有水面の 造成埋立 | 安定型の 海面処分場 | 管理型の 海面処分場 |
|--------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 指定埋立資材 | 残土類・ 浚渫土など | 安定型 5 品目 | 焼却灰等の 廃棄物 |
| 遮水護岸 | × | × | 0 |
| レベル2護岸 | | 0 | 0 |
| 廃掃法の適用 | × | 0 | 0 |
| 埋立免許権者 | 知事もしくは 港湾管理者 | 知事もしくは 港湾管理者 | 知事もしくは 港湾管理者 |

図4:埋立材料の観点でみた水面埋立地

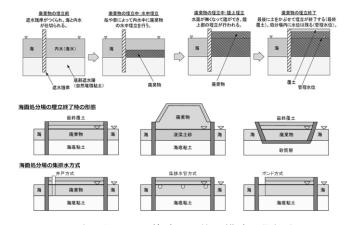


図 5:海面処分場の築造と形態(構造と集排水)

一般廃棄物や管理型産業廃棄物を埋め立てる海面処分場の場合、遮水性の廃棄物埋立護岸を用いて、護岸で囲った領域が外海から隔離された状態を作らなければならない。この状態で廃棄物の埋め立てを開始しないと、廃棄物と接触した内水が外海と接触することになってしまい、最終処分場としての封じ込め機能を失うことになる。そのため、最初に遮水性の護岸が建設される。その後、片押しや撒き出しによって廃棄物を水中(遮水護岸で隔離された内水)に投入して埋め立てが進められる。水中に廃棄物を投入すると、内水の水位が上昇するため、余剰水を外海へと放流するが、この際、水処理施設で処理し、放流水基準に合致した水質にしてから放流する。埋め立ての進行と共に、廃棄物が水面よりも上に上がってくるが、これを陸域化と呼び、これ以降は陸上処分場と同様の埋め立てが行われ、最後に最終覆土を設置して埋立終了となる。この間、内水の水位は管理水位と呼ばれる水位で制御され、内水が残存する。これは、遮水性のある護岸の構造安定性のためであり、内水を全て抜いてしまうと護岸が変形する恐れがある。最初から水を抜く構

³ 遠藤和人・小田勝也 (2013): 海面処分場の現状と将来性, 7. 海面処分場の今後の発展性, 第 61 巻, 第 9 号, pp. 49-56

⁴ 財団法人港湾空間高度化環境研究センター (2008):管理型廃棄物埋立護岸設計・施工・管理マニュアル (改訂版)

⁵ 上野一彦・鶴ヶ崎和博・御手洗義夫(2013):海面処分場の現状と将来性, 3. 海面処分場の地盤工学上の課題 その 1 - 遮水性と構造安定性-, 第 61 巻, 第 5 号, pp. 69-76

造の遮水性護岸を建設するという方法もあるが、波力を受け持たせる遮水性護岸の建設には多大なコストが必要となる。埋立終了時の海面処分場にはいくつかの種類がある(図 5 参照)。埋立終了時の高さが概ね護岸高さと同じになる場合が多いが、東京都の新海面処分場のように、水位付近までは浚渫土砂を材料として埋め立て、その後に、盛土という形で廃棄物を埋め立てる場合もある。埋立終了後も水位の管理が必要になるが、これを井戸(単井戸や群井戸)で行ったり、暗渠という形で集排水管を用いたり、残留海水面を残してポンドとし、その水位を管理することで処分場の水位管理とする場合もある。

4. 海面処分場の維持管理の特長

海面処分場の維持管理基準は、構造基準と同様に陸上と同一であるが、先述した通り、水位管理が特長である。陸上処分場の場合、降雨浸透水は重力によって下方へと移動し、保有水等集排水管によって集められ、処分場外へと運ばれて水処理されるが、海面処分場の場合、重力では保有水等(前節までの内水のこと。最終処分場内の水としては保有水等という用語が適切なので、以降、保有水等とする)が移動しない。そのため、ポンプアップ等の方法で保有水を場外に排出する必要がある(図6参照)。

5. 海面処分場の廃止とその課題

海面処分場の廃止基準も、構造基準や維持管理基準と同様に陸上処分場と同一である。法令上は、海面処分場と陸上処分場を分けて考えていない。これは、平成 10 年の廃掃法改正による処分場基準の強化が、主に陸上処分場を対象としていた事が一要因と考えられる。当時の生活環境審議会廃棄物処理部会の議事録には「陸上処分場を想定して強化すべき基準を記述しているが、水面埋立地については立地条件が大幅に異なるので、その特定を踏まえつつ、同様の方向で見直しを行うべきである。」という発言が残っている。

海面処分場の廃止基準で問題となるのは、廃止確認申請の対象となる保有水等の位置であると考える。陸上処分場における保有水等は、保有水等集排水設備の出口(末端)から出てくる保有水等を意味しており、集められていない保有水等(例えば、廃棄物層の間隙

- 維持管理要件は、陸上処分場と同じ
 - 制度上、陸上と海面処分場を区別していない。但し 書きでの除外はある。
- 海面処分場特有の維持管理項目は「管理水位」

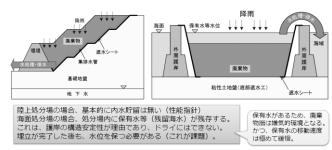


図 6:海面処分場の維持管理の特長

• 廃止基準も陸上と同じであり、海面処分場を特別扱いしていない。

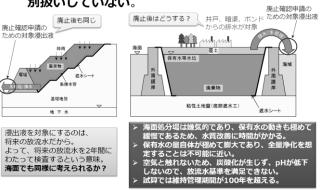


図7:海面処分場の廃止とその課題

① <u>仮置場等の処理に必要なスペースや最終的な処分先</u>の確保が極めてひっ迫すると想定される巨大災害時には、海面処分場は非常に重要な役割を果たしうる施設であり、巨大災害時における活用の在り方等について、事前の十分な検討が必要である。また、これを円滑に活用するため、平時から、廃止に至る期間の長期化や跡地利用の制約、多額の建設コスト等の海面処分場が抱える課題への対応を検討する必要がある。

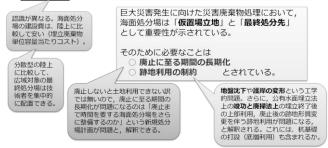


図8:巨大災害に備えた海面処分場の役割

に残っている水)は対象になっていない。これは、保有水等集排水設備の末端が将来の放流口になるためである。よって、将来の放流水を2年間にわたってモニタリングすることが廃止確認申請に必要な行為と解釈できる。では、海面処分場における保有水等集排水設備とはどこか、将来的な放流口とはどこか、という疑問が湧く(図7参照)。これを明確に定義しないと廃止確認申請に必要な保有水等が決まらないことになる。技術省令の第1条第1項第5号ニには「埋立地には、保有水等を有効に集め、速やかに排出することができる堅固で耐久力を有する構造の管渠その他の集排水設備(水面埋立処分を行う埋立地については、保有水等を有効に排出することができる堅固で耐久力を有する構造の余水吐きその他の排水設備。以下「保有水等集排水設備」という。)を設けること。」とされており、排水設備がそれに当たる。排水設備は図5で示した、井戸、集排水管(暗渠)、ポンドであるが、そこから水を抜くためにはポンプ施設が必要なため、そのポンプの先が保有水等集排水設備の末端となり、廃止確認申請の対象となる保有水等であると考えられる。廃止制度の精神を鑑みれば、この保有水等は廃止後の将来にわたる放流口でなくてはならない。海面処分場の場合、重力という不変の力によって排水されるわけでは無いので、廃止確認申請の放流口が、将来も放流口であり続けることを

担保できる制度が無いのが現状と考えられる。

海面処分場内には保有水等が多量に残存しており、水位が存在するため、廃棄物層の殆どは水没しており、嫌気性を呈している。重力によって水が移動せず、動水勾配が極めて小さいことから、水の移動が極端に緩慢である。このような理由によって、海面処分場の水質は遅々として改善されず、放流水基準を満足するような水質になるのに多大な時間を要する。保有水は、空気と接する機会が無いので炭酸化が生じず、pHも下がりにくい。ある試算によれば、pHが9.0以下になるのに100年以上を要することが推定されている。このような維持管理期間は、土地としての利用を妨げるばかりでなく、処分場の運営にも大きな影響を及ぼすことになる。

6. 巨大災害に備えた海面処分場の役割

平成 27 年 2 月にまとめられた巨大災害に係る対策スキーム⁶において、巨大災害時における海面処分場の役割の重要性が言及されている(図 8 参照)。海面処分場の円滑な活用の障害となっているのは、廃止に至る期間の長期化、跡地利用の制約、多額の建設コストの3点であるとされている。多額のコストについては、埋立廃棄物容量当たりコストで考えると、陸上よりもはるかに安いという試算⁷があるので、ここでは論じない。廃止期間の長期化は問題であるが、災害時の活用は一時的な仮置場利用や、復興資材のストックヤードが主目的となることから、廃止していなくても暫定跡地利用は可能と思われる。恐らく、この文言は、

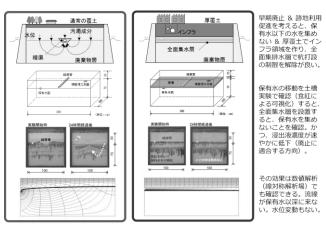


図9:海面処分場の新しい廃止の考え方

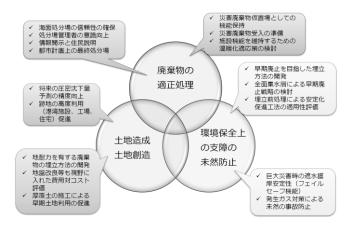


図 10:土地を作るという観点での埋立管理

廃止が長期化するような海面最終処分場を更に整備していくのか、という疑問を投げかけているものと推察される。また、跡地利用の制約には、メタンガス発生や建築物基礎打設の難しさ、沖積粘土層の圧密による地盤沈下等が含まれていると思われることから、これまでの事例整理や今後の技術開発が望まれる。

7. 海面処分場の新しい廃止の考え方

海面処分場内部の保有水等が動きにくいのは地理的な要因によって動水勾配を確保できないためである。それを無理 矢理に動かす駆動力を人工的に与えることはエネルギーコストの観点から現実的とは思えない。暗渠排水は、海面処分 場内の保有水の水位が均一とならないことを駆動力としているが、それでも動水勾配が小さすぎることや、保有水が動 いたとしても pH の問題は解決しないこと等を総合的に考えると、「廃棄物と接触した水を集めない」という発想もあり 得ると思われる。例えば、処分場内の保有水付近の全面に、コンクリートガラ等の礫材を用いた面的な集水層を設置す れば、保有水等を集めないで管理水位を保つ維持管理が可能となり、廃止時期を大幅に短縮することが可能となる8。

8. さいごに

海面最終処分場は、公共の利益に資する土地造成・土地創造の場を提供するために廃棄物を材料として埋め立てた水 面埋立地であることから、跡地利用を前提とした埋立管理(地耐力や環境保全など)が必要と思われる。同時に、廃棄 物を材料としていることから、環境保全上の支障が生じないように水とガスに対する配慮を施す事も必須である。また、 廃棄物処理行政の信頼を確保するため、管理者の意識向上や情報開示等、積極的な対応も望まれ、平時の廃棄物管理、 災害時の廃棄物対応に資するインフラ設備となるよう、制度改正や技術開発を行うことも必要ではないだろうか。

⁶ 巨大地震発生時における災害廃棄物対策検討委員会 (2015): 巨大災害発生時の災害廃棄物処理に係る対策スキーム について、平成 27 年 2 月, p. 17

⁷ 遠藤和人・山田正人・井上雄三・小野雄策(2010): 廃棄物最終処分場のライフサイクルコストに関する一考察,第 21 回廃棄物資源循環学会研究発表会,金沢,pp. 545-546

⁸ 遠藤・竹崎・東原・前田・新井・太田・角田(2015): 海面処分場保有水の面集排水方式に関する土槽実験, 第 50 回 地盤工学研究発表会, pp. 2373-2374