

2014年度 大阪ごみ減量市民交流会

2015 Jan 28 大阪市阿倍野市民学習センター

基調講演 **ごみと塩素の関わり**

大阪工業大学 工学部 環境工学科 教授 渡辺信久

1 塩化水素問題が発端であった

1.1 塩化水素の元凶はプラスチックか?食塩か?

長らく、東京都では、プラスチックを燃えないごみとして分別してきた^{*1}。プラスチックは、石油から作られ、炭素と水素が主成分であるから、燃やせば水と二酸化炭素になる。にもかかわらず、「燃えないごみ」として分別され、その結果、そのまま東京湾の最終処分場「夢の島」に埋められた。この間、もう一つの大都市である大阪市では、プラスチックを「普通ごみ」として焼却してきた。

プラスチックが燃えないわけではない。塩素を含んだプラスチック(ポリ塩化ビニル(塩化ビニール)、ポリ塩化ビニリデン(食品ランプなど))を燃やしたときに発生する塩化水素が「公害」であるから、プラスチックを可燃物から除外することになったのである。

人が、ごみに含まれる塩素を「疎ましく思った最初の出会い」は、燃やして発生する塩化水素ガスであった。塩化水素ガスは、塩酸のビンを取ると鼻にツンとくる刺激臭があり、身近なものでは、トイレの洗剤「サンポール」が 9.5%塩酸である。ちなみに、10%を超過すると、毒物劇物取締法の適用を受けるので、「サンポール」は、厳密に 10%未満に管理されている。

「塩素が悪い」=「プラスチックが悪い」という図式は、プラスチックを「燃えないごみ」に分別したことから、自然と形成されたわけであるが、調理くずなどの台所ごみにも塩素は含まれ(すなわち、塩化ナトリウムなどである)、こちらはどうかだろうかという議論も発生する。結論から言うと、食塩でも条件によっては塩化水素を発生する。ただし、100%が塩化水素になるのではなく、条件にもよるが、10～40%くらいが塩化水素になる。おそらく、このころの「塩化水素の元凶はプラスチックか、食塩か」の論争は、曖昧な引き分けで幕引きされたのだと思う。

1.2 塩素分析も曖昧なまま受け継がれた

この曖昧な引き分けのおかげで、「ごみ中の塩素分析」が、やはり、曖昧な形で受け継がれることになった。筆者が、自分の研究として関わったのは、ここからである。有機物に含まれる塩素を分析する伝統的な方法は、試料を燃焼させ、発生した塩化水素を調べるものである。すなわち、ごみを燃焼したときに発生する塩化水素を調べるのとよく似ている。実際、東京都清掃研究所(1965年に発足し、2000年に廃止)が1970年代から採用した方法もそうであった。

しかし、思い返してほしい。食塩から部分的に塩化水素が発生するということは、残りは、灰の中に残るということである。すなわち、試料に含まれる塩素を調べるのであれば、燃焼排ガスの塩化水素を調べ

*1 現在は、東京都でも、埋立地を圧迫しないために、燃やすごみの方に入れている。

るだけでは、灰に残留する塩素を見ていないことになる。東京都清掃研究所は、そういうことから、自らが蓄積したデータを「塩素分」とはわずに、「揮発性塩素分」と名付けている。当時、廃棄物の塩素データを精力的に採取していた研究機関は、東京都清掃研究所だけであったので、「揮発性塩素」が一人歩きしているうちに、「塩素」として略され、あたかも全塩素であるかのように扱われるようになったのである。

廃棄物燃焼の塩化水素の公害だけを取り扱っている間はそれでよかったのであるが、1990年代に入って、焼却灰のリサイクルが主要なテーマになってくると、灰に残る塩素分もリサイクルを阻害する重要な因子として見なされるようになった。このころ、筆者は大阪市環境科学研究所でごみ分析の業務担当をこなしながら、燃焼と塩素の挙動について研究しており、「揮発性塩素」と「灰残留性塩素」について、様々な試料についてデータを採取していた。筆者は単に、学術的な興味から検討を始めたのであるが、廃棄物リサイクル業界にとっては、正確な塩素データが死活問題であった(後に述べるが、塩素および同時に存在する塩類が施設を損傷する)。また、焼却灰を原料の一部として利用する「エコセメント」を製造する上でも、全塩素データの正確な測定が不可欠であった。

意外かもしれないが、1990年代に入るまで、燃料分析における塩素分析は、実は、ほとんど何も検討されてこなかったものと思われる。燃料分析は、1950年代以降「JIS M8812」、「JIS M 8813」、「JIS K 2541」という形で、公定法が整備されていたが、炭素、水素、窒素、硫黄について定められたものであり、塩素については言及されていなかった。化石燃料では、塩素は含まれず、問題になることがなかったのである。従って、燃料中の塩素を調べる必要が出てきたのは、まさに人間がごみを燃やし、その排ガスを公害として認識したのが最初であった。そうしているうちに、ごみ固形化燃料(RDF)の塩素分析法が1999年にJISで定められた。この結果は、「揮発性」だけを調べる方法(方法A)と「揮発性」と「灰残留性」の合計を調べる方法(方法B)の両方法が併記され、ともに、「全塩素」と名付けられたのである。当然のことながら、両者のデータは一致しない。

昔話で恐縮だが、方法Aと方法Bの違いを題材に、廃棄物学会で小さいシンポジウムを開き、リサイクルのためには、両方とも「全塩素」と名付けられることが望ましくないことを述べた。セメント業界の紹介もした。しかし環境省からの出席者からは、「JISは通産省(現在の経済産業省)さんが決めることですし、セメント業界さんも自衛されているようですから……」との発言であった。それまで筆者は、JIS化されればその公定法としての地位は絶大であると信じていたが、このときはじめて、官僚の少々なげやりな態度を見た気がした。

少し口を滑らせるが、筆者のような理系人間の集団の中では、リサイクルと塩素・塩類に関わるトラブルを経て、業界の自衛的な計測データが、JIS公定法の権威よりも重要視されるが、経理やコンプライアンスを物事を中心に据えている社会では、JIS法での計測データが「絶対の値」としてまかり通る。若い頃にはそのことに憤然としたが、今は、「それを利用して金儲けができないか」とチョロチョロ考える歳になった。

1.3 塩素・塩類がやっかいな理由

ここで、塩化水素を発生する塩素よりも、全塩素、全塩素と同時に存在する塩類(ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム)がどれほど、やっかいなものであるのかを示す例を紹介したい。筆者は大学の先生として、廃棄物試料の元素分析実習を教えているが、プラスチック類試料と厨芥類試料の燃焼は、別々の石英管炉を使用している。いずれ劣化して、石英管はひび割れていくのであるが、厨芥類試

料(塩類が多い)に適用しているほうが、プラスチック類に適用しているものよりもはるかに速くダメージを受ける。すなわち、塩類が多い燃料を燃焼すると、実は塩分自体が揮発してこれが、ガラスや金属に付着し、染みこみ、材料をぼろぼろに破壊していくのである。このプロセスは温度が高くなるほど激しくなり、そのことを避けるために、塩類を含む廃棄物発電のボイラー水蒸気運転温度は、石炭火力発電所のそれより、低めに設定されている^{*1}。廃棄物とは異なるが、原子力発電所(セシウムという塩類がウランから発生する宿命を持つ)に至っては、絶対に壊れてはならないので、さらに水蒸気温度は低く、熱効率はすこぶる悪い。

2 ダイオキシン問題

2.1 ダイオキシン問題が起こった理由

ダイオキシン類が問題となった最初の理由は、「計測できしまった」からである。環境汚染による健康被害が起こったからではない。この種の物質の計測は、化学的に過酷な前処理(硫酸処理など)と熱分離のあとで、原始的なイオン化と、質量分析計で達成される。ダイオキシン類は、この過酷な過程で、最後まで残る「タフなやつ」なのである。ちなみに、米軍がベトナム戦争で使用した枯れ葉剤(生まれてくる子供に異常が発生した原因であると考えられている)にダイオキシン類が副生成物として含まれていたということは、廃棄物焼却灰のダイオキシン類検出の価値を最大限にまで押し上げるものであった。

2.2 次第にシンボル化したダイオキシン類

しかし、その後の日本で多く消費された農薬 CNP にも相当量のダイオキシン類が副生成物として含まれていたことがわかった。あれほど多く水田に農薬 CNP が散布されたにもかかわらず、水田残っているダイオキシン類は、多くはなかった。太陽光線などで分解作用が働いたものと考えられている。

ダイオキシン類は、焼却や新鮮な灰の表面で熱化学的に生成する有機塩素化合物のひとつである。ダイオキシン類よりも毒性の強い物質はあるはずだが、おそらくダイオキシン類よりも不安定で化学分析で捕まえることはできない。しかし、ダイオキシン類を抑制していれば、これらの未知の有機塩素化合物をも低減していると考えられる。したがって、シンボリックではあるが、ダイオキシン類を作らないようにしようとする方向には、誰もが賛成すると思う。

2.3 ダイオキシンと折り合いをつけてつきあっていく

ところで、ダイオキシン類生成の塩素源としては、プラスチックと食塩などの無機塩素は「同罪」である。塩化水素と同じく、最初は、塩素を含むプラスチックが塩素の起源となると考えられたが、研究が進むに従って、塩素と金属が協同して未燃炭素に食いつくことで、ダイオキシン類を含む有機塩素化合物を生成

*1 石炭火力発電では 500 °C 以上(最新型では 600 °C 以上)、廃棄物発電では 350 °C 以下(最新型では 400 °C 近いものもある)である。

することがわかってきたのである。

無機塩素と金属類の作用がダイオキシン類生成に寄与することがわかったいま、ダイオキシンを完全になくすことは不可能であって、どこかで折り合いをつけなければならない。現在のダイオキシン類に関する規制値は、十分に厳しく、今後もこの基準を遵守してダイオキシン類およびその関連する化合物による毒性被害は許容できるものであると信じている。ちなみに、ごみ発電をするのであれば、熱交換器に金属が使用され、いくらかの有機塩素の生成は覚悟しなければならない。しかし、その程度は、清掃の頻度や燃焼の管理で、十分に制御可能である。清掃が行き届いていれば、ダイオキシン類の再合成による急激な濃度上昇は避けられる。2014年にある自治体の焼却飛灰で、ダイオキシン類の濃度が高いまま、最終処分場へ搬出していた問題が明らかになったが、これは、その管理に問題があったためである。

すなわち、ダイオキシン類問題は、最初の鮮烈な「ダイオキシン検出」ニュースから、次第に軟着陸しつつある。未知のリスクを含む有機塩素化合物を継続的に押さえ込む指標として、今後も、その重要性は変わらないであろう。

ダイオキシン問題に冷静に向かうことができる今、もう一つ、考え直してみたいことがある。果たして、ごみ燃焼は、完全に燃やさないといけないものだろうか。1970年代までは、ごみを燃やしきることが難しく、燃焼管理がどれくらいうまくいっているのかを見る指標として、焼却灰の熱灼減量(ねっしゃくげんりょう、焼却灰を採取して、実験的に完全に燃焼させ、もし有機物が残っていればさらに重量が減るので、「この重量の減り分」が少ないほうがよく燃やされていると判断するもの)を指標として、完全燃焼を目指してきた。しかし、一方で、木炭のような「巨大な有機物の網の目」は、水を浄化し、微生物の住み処を提供し、有機汚染物質を吸着保持する。最終処分場を長く研究してきた福岡大学の柳瀬先生からは「昔の方が埋立浸出水がきれいだった」とも聞く。すなわち、燃え残りには炭のような役割がある。ダイオキシン類対策の進展で燃焼管理が行き届いたからこそ、炭のありがたみに何人かの人は気づき始めている。

3 塩類の行方

3.1 増えた塩類

塩化水素やダイオキシン類を封じ込めるために、現在は固体のアルカリ剤(消石灰など)を吹き込むバグフィルターが普及している。粉末の消石灰をガスと反応させ、塩化水素を捕集し、未反応の消石灰と焼却飛灰をあわせてバグフィルター(ろ布)でこしとるのである。この方法を排ガスの乾式処理という。塩化水素を処理するだけであれば、湿式、すなわち水でガスを洗う方が効率がよいのだが、乾式処理の方が微粒子の捕集効率がよいことから、1990年代以降は、バグフィルターが普及した。洗煙処理がなくなれば、排水もでないことになる。焼却施設のクローズド化(施設から排水を出さないという意味で)が可能になったのである。

3.2 最終処分場に向かう塩類

以上のように、1990年代の焼却処理施設は、大変進歩したわけであるが、排水がないということは、それまで排水と同時に系外に出していた塩類が灰に残留することを意味している。最終処分される廃棄物に、この高濃度の塩が持ち込まれるようになったのである。都市部の環境汚染防止技術が、最終処分場が抱え

る塩類問題に置き換わったのである。ナトリウムとか塩化物イオンは、環境基準の項目として重要視されることもないので、処理対象として特別扱いされることもなかった。しかし、この問題は深刻なのである。

というのは、最終処分場が山間部に作られ、そこに、塩類を多く含む廃棄物を搬入するならば、塩類は流れ出し、下流に塩害をもたらすのである。植物が生育しなくなる。塩類によって土地が死ぬことは、決して絵空事ではない。周囲に人が多く住み着いて水を利用したアラル海が 1960 年代から比べて、面積が 20%くらいにまで小さくなっている。「塩水湖」、「塩の大地」、「塩の砂漠」という言葉が世界中にあるので、似た経過をたどった死の世界は少なくない^{*1}。

人の活動が激しくなると、その土地には塩類が持ち込まれてしまう。我が国でも、琵琶湖では、この 50 年間で塩化物イオンの濃度が 6 mg/L から 12 mg/L へと、2 倍に上がった。琵琶湖の水は、まだまだ、美しい淡水であるが、滋賀県の人口増加に、「上流に住みたい」という人の欲を少なからず感じる。

3.3 深刻な陸地の塩類問題

廃棄物には塩類が残留し、しかも、その量と濃度が、焼却処理と排ガス処理の高度化によって格段に増え、この焼却灰を山間部に設置した最終処分場で保管しようとしている。最終処分場の伝統的な考え方は、降水と微生物の活動で、埋め立てられた廃棄物がゆっくりと無機化していく「バイオリクター」のはずであったが、焼却灰、それも塩類を多く含んだ乾式排ガス処理で排出される塩類を多く含んだ焼却灰が進入することによって、状況が変わった。塩類は、微生物反応によって分解されることはなく、また、廃棄物の中にとどまることもなく、かならず流れ出すのである。降水が入らないように、石棺のような最終処分をすればよいのではないかと思う人がいるかもしれないが、1 人 1 日あたり 100 g 発生する埋立ごみをそうすることもできない。

最終処分場はどうしているかという、塩類を下流に流してならない(多くの場合、漁業権とか利水権が先行するので、そのとりきめによって予算化が可能になる)からと、我が国で塩類を取り除いてから放流している。イオン交換樹脂を通過させ、塩類を捕集し(おそらくこのイオン交換樹脂は海水に面した沿岸部で塩を放出して再生されていると思う)、「塩辛い水」にして放流しているのである。あるいは、こうして集められ最終処分場浸出水から塩類を回収し、「副生塩」としてのリサイクルを研究しているグループもある。いずれにしても、浸出水の塩類に対して、何らかの対策を打ち出している我が国の廃棄物関係者には、最大限の賛辞を述べるべきである。仮に、塩類を多く含む水を、「排水基準で法的に縛られていないから」という理由で放流すると、下流環境の塩水化が起り、生態系に甚大な被害をもたらす可能性が高い。

実は、塩類問題を主要なテーマとして、廃棄物学会でシンポジウムが開かれたことがある。塩類をなるべく最終処分物に入れないようにと、最終処分場では塩類に対してどのような対策をとることができるか、を話し合っ、あるべき廃棄物処理の姿について話し合ったものである。技術者、それも最終処分場を管理する側の技術者の真剣さは際立つものであったが、「お客様」である自治体からの反応は鈍く、塩類の深

*1 このあたりのことについては、環境考古学において森の重要性を明らかにした安田喜憲先生、砂漠緑化(砂漠であるべきところは無理に緑化しない)活動をされている前中久行先生、京大農薬ゼミ・市民環境研究所で草の根ネットワークの活動をされている石田紀郎先生をはじめ、多方面からお伺いしている事項を、塩分の観点から述べているものである。

刻さはあまり伝わることはなかったように記憶している。それゆえ、漁業や農業用水の権利が、塩類除去を予算化する上で大切なのである。

3.4 海に戻せるものならそうするのがいい

では、最終処分場の塩類の問題の解決策はなにか。我が国においては、海面処分場を利用することができる。たとえば、大阪湾フェニックス最終処分場での浸出水に塩類が含まれていても、その放流は、海に塩を戻すだけなので、問題は起きない。「大阪湾フェニックス」は塩分問題を解決するために作ったものではなく、単に、関西の自治体が集団になって共通の最終処分場を求めたことと、埋立地が利益を生むという幻想から生まれた賜である。にもかかわらず、いま、大阪湾フェニックス最終処分場の最大のありがたみは、塩類を多く含んだ焼却灰を搬入しても、その放流水の塩類におびえる必要がないという点である。

筆者が大学生のときに、中国からの留学生で博士課程の学生として研究室を引っ張っていた王偉(ワン・ウェイ)さん(現在は、中国 精華大学教授)が、「渡辺さん、最終処分場の塩類問題は どうやって解決すればいいと思いますか?」と、数年前に問いかけてきたことがある。筆者は、「最終処分場の塩類を流せるように、海の近くで最終処分するのがベストだと思う」と正直に述べた。王先生は「あなたの国、日本は、海に囲まれているからそれができる。私の国の内陸部はいったいどうしたらいいのだ」と、大変、真剣であった。筆者は答えることができなかった。それこそ、持続可能とするためには、イオン交換樹脂で塩類を水から引き上げ、その樹脂を海で再生する(すなわち、塩分だけをとりだして、海へ放流する)ことを繰り返すことになるのだろう。ただ、その費用を誰が負担するとも決まらず、手をこまねいていれば、縮小するアラル海のようになっていくのであろう。中国内陸部も同じだと思う。中国は、国を挙げて、緑化に取り組んでいる。中国の政策として緑化の優先順位は高いので、その一環として塩類対策を行うことを望む。

我が国では、琵琶湖の塩化物イオンの濃度がこの50年間で6mg/Lから12 mg/Lに上がっている。2倍以上に上がっている。人の活動があると、そこには塩類がならずつきまとい、排水・廃棄物として周辺に排出されるということである。これをなくすことは不可能であって、共存を覚悟しなければならない。

4. 塩類とともに

廃棄物の処理で、最終的には塩は残る。塩類を海に流すことも解決策であるが、もうひとつ解決策がある。リサイクル製品を積極的に使うことである。典型的な例がセメントである。「エコセメント」は、廃棄物を管理しながら原料の中に入れて、廃棄物由来の塩類によって製造時の温度を下げる(普通ポルトランドセメントの焼成温度は1450℃であるが、エコセメントでは1350℃)ことができ、物質循環とCO₂抑制の両方に寄与することができるものである。エコセメントは、性能面でも問題ないとされているが、高級なセメントと肩を並べる必要もないと思う。それよりも、道路の縁石のように、一般の人の目に触れるところに配置し、少々朽ち果てていっても容易に交換できるような使い方で、もっとニーズを高めることはできないであろうか。全く同じことが、焼却灰を原料とした骨材・充填剤にも言える。逆に言えば、何百年も持たせたい高品質な鉄筋コンクリートには、相応の金額を支払うべきである。そもそも、都市生活者が「より良いものをより安く」と、たいした対価も支払わずにバージン原料を買い求めることに、筆者は、40年間腹立たしく思っているのである。高校生の頃の独りよがりの正義感を思い出した。50歳を過ぎたいま、妙に正義感を振り回すと嫌われるので、黙らないと行けない。

塩類を取り除いてくれる天然の最大のメカニズムは、水が低い方に流れること、その水を蒸発させて雨を降らせる太陽、塩を限りなく受け入れる海である。自然信仰のような下りになってしまうが、リサイクルが、それを感じないようになるために、自然の力が必要であって、塩類を海に戻すことも大局的にはリサイクルである。

5 まとめ

廃棄物処理における塩素を題材に、環境汚染・リサイクル・持続可能性を論じた。

近代的な廃棄物問題で、われわれが、塩素の存在を疎ましく思ったのは、焼却時の塩化水素とダイオキシン類の発生である。その問題は、焼却と排ガス処理の改善によって解決することができたが、最終処分場の塩類問題を増幅する結果となった。

塩類問題は、生態系の持続をも脅かすものである。解決策は、「塩類を海に帰す」仕組みを作ることと、ある程度の塩類と折り合いをつけて共存する心構えを持つこと、すなわち、リサイクル製品を使うことである。

附表 塩素、塩化物イオン、塩類などの類似の用語は次のように使い分けをしている

	Cl 元素	Cl(イオン)	Na,K,Ca,Mg (元素およびイオン)
塩素	x		
塩化物イオン		x	
塩類	x	x	x

渡辺信久

1982年 東京都立新宿高校卒
1983年 京都大学工学部衛生工学科入学
1992年 京都大学大学院 博士後期課程 研究指導認定退学
(学位取得 1994年7月 博士(工学)、指導教授 高月紘)
1992-2002年 大阪市立環境科学研究所 研究員
2002-2006年 京都大学助教授(環境保全センター)
2006年 - 大阪工業大学 工学部 環境工学科 教授