

## 廃棄物分析現場での問題点

實田 晶子（広島県環境センター）

### 1. 地公研の仕事と廃棄物化学

広島県環境センターは昭和52年に衛生研究所から独立し、それに伴い騒音、振動と産業廃棄物の試験検査を担当する「特殊公害科」が新設された。最初の頃は、県内の産業廃棄物の発生場所（有害物質排出事業所）や中間処理業、最終処分場で採取した年間約400検体の廃棄物の溶出試験と年に数件はおこる事案の試験検査を行い、更に溶出試験で起こる色々な問題を処理するために多くの時間を費やしていた。昭和60年度からは一般廃棄物に関する調査を行っているものの、業務の主体は従来通り産業廃棄物の分析がルーチンとなっている。このように職務上我々は廃棄物の分析技術者であり、廃棄物学からみれば廃棄物化学とでもいうべき分野の仕事をしている。

さて環境化学の中で廃棄物化学が当面している課題は、第1に、廃棄物が環境水とどのように接触して種々の物質が溶出し、他の廃棄物や土壌を通して浸出水として環境へ出て行くか、つまり、廃棄物と環境との関わりについて知ることと、第2に埋立地内の物質収支（水量、水質）を予測することだと思う。県や政令市では監視業務があるので廃棄物の採取や埋立地への立入が比較的容易であり、現場調査ができるという利点はあるにもかかわらず、廃棄物の分野の熱心に取り組んでいる地公研は東京、大阪、埼玉、神奈川等の自治体に限られている。また全国公害研協議会の部会は水質、大気、生物があるものの、廃棄物の部会はないので、我々の情報交換はごく限られたものとなっている。

ここでは廃棄物と埋立地を分析対象として日々の仕事をしながら、思っていることを述べてみたい。

### 2. 廃棄物に関わる問題点

#### 廃棄物のばらつき

水や大気を対象とする環境科学では自然状態（バックグラウンド）というものがあり、その中で物質循環や自然に対する人為的な汚染の影響を追っている。しかし廃棄物の場合はそれ自体人為的なものであり、

常に変わるものである。そして製造物ではないから品質管理されることもない。“廃棄物とは”という問いに化学的な意味で答えることが我々の仕事だと思っているが、廃棄物は再現性がなく、ばらつきが大きいというところにやりにくさがある。廃棄物のばらつきが大きいということは3つの意味がある。第一は種類が非常に多いこと、第二は、排出時点で、原材料、使用している薬品、製造工程、その後の処理法によって同種の廃棄物でもその組成が変わること、そして第三は日々排出される同一の廃棄物の日間変動があることである。更に分析の方からみれば分析方法によってその値が変わってくる。例えば廃棄物の一つに汚泥があり、その中にメッキ汚泥があるが、それらは、下地材料の違いやメッキする金属（銅、亜鉛、クロム、ニッケル、スズ等）によってまた排水処理剤の種類によってその組成も化学形態も異なってくる。メッキ汚泥一つとってもその元素組成や環境影響の大きさをひとまとめにすることはできず、ある廃棄物のある条件下での結果として報告され評価される。石炭灰や下水汚泥、高炉さい等は非常に多くの報告が排出事業者によって行われているが、これと同じ程の研究がそれぞれの廃棄物には必要であると思われる。

#### 分析における正確さと精度（再現性）

溶出試験は廃棄物のほんの一部の性質を示すものであり、基本的には化学組成が問題となる。溶出試験については次節で述べることにして、ここでは含有量について考えてみたい。岩石や鉱石の化学分析（湿式法）においてはフッ化水素酸分解やアルカリ溶融が用いられ、土壌や底質では王水などの酸分解が多く用いられている。また湿式分解によらない固体分析（蛍光X線やEPMA等）もあるが値の正確さや精度を保つにはかなり高度な技術を要する。分析法が違うと鉱さいと汚泥で、あるいは元素によって数倍もの値で異なってくるのがしばしばある。環境庁が実施している分析の精度管理調査において、今までに河川や海の底質、

下水汚泥、大気粉じん、茶葉、石炭フライアッシュが対象として選ばれ、全国400余りの分析機関が参加して行われた。試料は200メッシュ以下の微粉末で非常に均一と考えられるが、多くの元素で10%程度のばらつきがあった。そしてフッ酸分解と酸分解の値では、AlやTi等はもちろん、FeやCo、V等も大きな差があったと報告されている。目的によっては廃棄物中の成分の正確な値を知る必要がないこともあるが、廃棄物化学を環境科学の中に位置づけるときは正しい値というものにこだわって行きたいと思う。

**廃棄物と環境との関わり**

環境に影響を及ぼすのは、主として廃棄物中の化学形態であって、元素組成ではない。水酸化物の多い汚泥、酸化物の多い燃えがらでは環境水のpHによって大きく影響を受け溶出しやすくなることがある。一方、同じ元素組成でも高温溶融物やセメント処理物ではガラス状や結晶性の金属-アルミノケイ酸塩の構造中に取り込まれ溶出しにくくなる。廃棄物中に元素の化合形態を知ることは、環境影響の大きさの推測、あるいは廃棄物の化学的分類といったことに発展すると思う。また資源化や再利用の可能性も探ることができよう。しかしそれには高価な分析機器と高度な分析技術が必要であり、これからの課題になると思われる。

廃棄物の環境中での挙動をみるのに種々のモデル実験が行われている。溶出試験では環境との関わりが分からないからであるが、多くの場合、現実的な埋立地と埋立工法を念頭においたアセスメント用のデータを求める実験であり、定量的な意味で一般化できないことが多い。統一したモデル実験で廃棄物を分析すれば、より一般化できるデータが揃うのではないかと思う。

以上のように廃棄物に関しては、再現性のあるよい分析法を選ぶこと、そしてそれが統一されること、また化学形態についての知識を増やすことがこれから必要なことではないかと思う。これにはsystematicな研究体制がなければできないかもしれない。

**3. 溶出試験に関する問題点**

溶出試験に関しては現在の試験法が昭和48年に制定され昭和51年に改正されて後も、多くの研究者が、溶出時間、溶出溶媒のpH、固液分離方法、試料/溶媒比等多くの問題点を指摘している。そして昭和57~58年

に検討委員会により自治体のアンケート結果をもとに見直しが行われて改正案も出されたが、早川<sup>1)</sup>がまとめているような理由によって、改正されることなく現在に至っている。溶出試験の問題点は、分析値のばらつきが大きいことと環境中での溶出を表わしていないことである。我々の経験をいくつか紹介し溶出試験の問題点をみてみたい。

**溶出試験のばらつき**

溶出試験では、とにかく正しい値、人によって変わることのない再現性のあるデータを出すことが至上命令である。埋立基準を超えると処理費が数千円/tから数万円/tへとはね上がるからである。環境化学特に分析化学の専門家からすれば、分析のばらつき再現性は変動係数でみると室内で数%、室間で10%以下が目標とされる。しかし廃棄物の溶出試験では室内でも10%以内に抑えるのはかなり難しい。実際には多くの場合、

表1 溶出試験のばらつき

試料	元素	分析方法	平均値(mg/l)	変動係数(%)
1 採石かす	Cd	溶媒抽出(1)	0.48	24
		直接(2)	0.61	6.0
2 一般廃棄物	Cd	溶媒抽出(1)	39	24
		直接(2)	43	6.5
焼却場 EP ダスト	Pb	溶媒抽出(1)	3.8	33
		直接(2)	4.0	6.9
3 メッキ汚泥	Cd	溶媒抽出(1)	1.4	11
		直接(2)	1.5	9.7
	Pb	溶媒抽出(1)	4.0	21
		直接(2)	4.0	16
4 メッキ汚泥	Cr	溶媒抽出(3)	16	12
		直接(2)	17	12

注1) 溶出試験：試料50g/溶媒500ml

注2) 分析方法

- (1) Cd及びPbの溶媒抽出法：溶出液をHNO<sub>3</sub>で加熱分解し、DDTC-酢酸ブチルで沈澱が生成しなくなるまで抽出し、溶媒層を集めて揮散させ、硝酸-過塩素酸分解後硝酸溶液にして原子吸光法により測定した。
- (2) 直接法：溶出液をHNO<sub>3</sub>で加熱分解したものを直接原子吸光で測定した。
- (3) Crの溶媒抽出法：トリオクチルアミン-酢酸ブチルによる抽出液を原子吸光で測定した。

一つの分析値に対して1/2から2倍の範囲内に分析値がばらつく。静岡県で行われた産業廃棄物の溶出試験のクロスチェックにおけるばらつき<sup>2)</sup>は、試料の均一性を配慮していたにもかかわらず、15~50%の変動係数であり、最低値と最高値の比率は2~6倍程度であった。試料が均一であったときのばらつきがこの値であるから、通常はもっと大きくなる。我々の試験室でも、比較的均一な汚泥、燃えがら、ダストの溶出試験を8人に同時に行ってもらったことがある(表1)。これをみると変動係数20~30%のばらつきであった。溶出試験は試料の採取(50g)時のばらつきもあるが、溶出液中に種々の元素が高濃度に溶出して操作途中で妨害したことも大きい。参考値として示した直接原子吸光法での結果の方が、多くの操作のある正規の溶媒抽出法に比べばらつきが小さいのはそのためと思われる。溶出試験のばらつきは、廃棄物の粒径や性状、元素の偏在、溶出する共存元素等非常に多くの因子があるので、それぞれの試料で常にばらつきを考えながら分析せざるを得ない。

#### 固液分離方法

試料の性状を除けば、溶出試験の操作の中でばらつきが最も大きいのは固液分離方法である。過去の経験であるが、同時サンプリングした排出事業所の値とく違っていたことがある。廃棄物は排水処理汚泥で微粒子であったため、我々は濾過困難と判断し遠心分離を行った。微粒子は遠心分離によっても沈降せず $1\mu$ の濾紙も通過し、微粒子中に含まれているCN化合物が検出された。事業所では1晩かかって濾紙5Cで濾過し澄明な液を溶出液とした。目詰まりした濾紙は微粒子を全く通過させず、CN濃度は1/10以下となったのである。汚泥についてはこの様なケースがよくある。検定方法は“ $1\mu$ 以下の微粒子は魚のエラを通過し、影響を及ぼすので、それらは溶けているとみなす”という主旨で $1\mu$ のグラスファイバーで濾過することになっていると聞いている。濁っていても生物影響のあるものは有害物とみなすのは当然であり、より合理的な操作を選ぶのは分析者にとって当然のことだと思う。濾過困難の判断は人によって大きく異なるので、固液分離操作におけるばらつきを少なくするために、現在、我々のところでは基本的には濾過を優先させるがそれに先立ち2000回転(3000回転より回転数を下げて)20

分の遠心分離を行うようにしている。もちろん直接濾過できるものは、遠心分離は行わない。

#### 溶出時のpHと塩濃度

酸性領域では多くの金属が溶出し、アルカリ側ではPb, Zn, As, Crといった両性元素が溶出してくるとい一般的傾向は廃棄物においても同じである。また中性付近で溶出することもある。廃棄物からの有害物質の溶出を決定する因子は、主として廃棄物中の化学形態と溶出液のpH及び共存イオン量と考えられる。溶出試験では陸上埋立でも海面埋立でもpH調整水を溶媒として用いているため、溶出時のpHは廃棄物から溶出する種々のイオンによって決定されてしまう。溶出後のpHを同じにしなければ種々の廃棄物の比較ができないという意味でこの方法に問題があるといわれている。早川の報告でも述べられているように、溶出試験の方法が初めて決まったときは、溶出後のpHを設定するようになっていた。しかし6時間溶出後のpH合わせは非常に困難であり現実的ではないので、現在のpH調整水による溶出試験に変わった。どちらの方法でも問題点が残るのはやむを得ないことであり、それが溶出試験の限界でもある。評価する側がそれをよく知っておかなければならないということであろう。溶出液のpHを調整できないことが溶出試験の問題点ではあるが、逆に言えばpHと塩濃度は溶出量を評価する目安になると考えられるので、我々はpHと電気伝導度をルーチン分析においても測定し、廃棄物の情報の一つとしている。

#### 溶出試験の限界

溶出試験の目的は、廃棄物をしゃ断型埋立地に処分しなければならないか、管理型埋立地で処分してもよいかの判断をすることであるから、溶出試験で基準以下であっても安全だということを意味するわけではない。ただ経験的にみると水を溶媒にした短時間の溶出(超音波や振とう)や静置浸出試験と比べると公定法の溶出試験は高い溶出値を示すという傾向はあった。溶出試験の限界は環境中での廃棄物の溶出量を推定することができないということである。環境条件での予測をするためには、考えられる条件、例えば種々のpH調整水、環境水、嫌気的条件、有機酸や塩を含む系等を考えねばならない。それがモデル実験の条件でもあると思う。

#### 4. 埋立地に関する問題点

多くの地公研の仲間は私達と同じように分析専門家が多いと思う。土木工学的には素人であることをこたわって現場の埋立地の調査、研究がいかに難しいかを述べてみたい。

##### 調査の可能な埋立地

多くの産業廃棄物の埋立は民間の処理業者によって行われている。しかし我々が関与できるのは埋立期間中に、搬入廃棄物が適正か、浸出水が基準を超えていないかという監視の場合であり、閉鎖以後は立ち入れず、情報も殆ど無い。また自治体が管理している一般廃棄物埋立地に対して、県は指導業務を持っているとはいえ、行えるとしても浸出水調査だけであろう。学会や誌上で報告される調査は実際に埋立地を持っている事業者しか行えない。数多い民間の埋立地で詳細な調査ができることは殆ど無い。そのため、我々が計画的、継続的な調査を行えるのは県が関与している公社の埋立地しかない。

##### 埋立地の水収支調査

広島県では昭和57年から公社による埋立事業が開始され、我々は環境汚染のチェックの仕事をしてきた。最初の埋立地は平地で塩田跡地であったので、後背地のある山間埋立と異なり水収支が容易に把握できるかにみえた。田の字になった4区画の管理型処分場には側面がシート張りされ、各区画には低い位置に浸出水をためる約100m<sup>3</sup>の溜ますが設置された。しかし梅雨時や台風時や現場の埋立作業上の問題から他の区画への水抜きが行われ、正確な水量の把握ができなかった。水収支を調べる目的で雨量計と手作りの蒸発計（直径80cm）を設置したが、蒸発量に関しては埋立地の蒸発量を正しく求めることは至難のわざであることがわかった。アセスメントでは気温、湿度、日照時間、風速から計算式を用いて求めているが、自由水面や植生のある状態や風の影響など現実的な埋立地の状況に合わせるには至っていない。雨量が正確に分かって、蒸発量（蒸発散量）はいまいである。農学の分野でかなり研究されているようであるが、そちらに期待するしかないのだろうか。アセスメントで蒸発量の計算式になんらかの文献値を用いるのはやむを得ないと思

うが、現場調査では実証するのが目的であるからあいまいさは排除しなければならない。蒸発量だけでなく、現場では予定外の表面流入水等もあり、水収支調査はかなり難しい。

海面埋立においても別の点から水量調査が難しい。海面埋立では下部は在来シルトのまま側面にシートを張っている。廃棄物の投入によって在来シルトの沈下は大きく、水量調査には、沈下盤と共に水位計の設置や定期的な水量調査が必要となる。しかし沈下盤の設置は埋立作業上難しいことが多い。

##### 埋立後の跡地調査

埋立跡地のボーリングや観測井の設置をするのは容易であるが、その後の評価が非常に難しい例をあげる。上記の埋立地の1区画(100m×100m)で観測井を両端に設けたが、2つの観測井の水位も水質も異なっていた。井水はごく近くの廃棄物の影響を受け、水の移動が行われにくかったことを示していた。無機性の廃棄物のみが搬入されているが、埋立終了後はかなり早く嫌気の状態になった。また井戸の水は成層して、上部の水は雨水に近い状態であり、その井水をポンプで抜いてしまうと、周囲の嫌気的な水が浸出してきた。平地の管理型埋立は典型的な嫌気性埋立で、上下左右の水の移動も少ないという結果が得られた。埋立跡地の安定化をみるには経時的な水質調査が必要であるが、水の移動が少ないため観測井の水質は全体を代表せず、また井水をどこまで抜くと代表値となるかの調査を行わなくてはならない。

埋立地は終了までに5～10年かかり、その後の跡地調査にさらに10年かかるであろう。1つの埋立地ですらその正確な情報を得るのに多大な労力を要する。しかもそれは他の埋立地に直接あてはまらないから、埋立地の数を増やしてそれぞれに詳細なデータを集めなくてはならない。廃棄物の調査も研究も遅々としか進まないものだとつくづく感ずる。

##### 参考文献

- 1) 早川亮太：水質汚濁研究，13(3)，23-27，1990。
- 2) 永野隆夫ら：静岡県衛生環境センター報告，No.25，119-122，1982。