

マテリアルフローを明らかにして サイエンスに基づいたごみ処理を！

北海道大学大学院工学研究院教授
松藤 敏彦氏に聞く

今回のインタビューは、先般、丸善出版から一般向けのごみ処理に関する書籍「科学的に見るSDGs時代のごみ問題」を刊行された北海道大学大学院の松藤敏彦教授である。長きにわたりごみ処理に関わる研究をされてきた先生であるが、そもそもの専門領域は空調設備だったという意外な側面もあった。お忙しい中、時間を割いていただき、お話をしていただいた（写真1）。研究室に訪問したのは新型コロナによる県外移動自粛がようやく解除された7月上旬である。

（聞き手：本誌編集委員会）



写真1 研究室にて松藤教授

1. 研究は建築設備のシステムから

——では、ごみ処理の研究者になった経緯からお願いします。

生まれは富良野です。高校は旭川に行き大学は北大で、北海道の田舎ではお決まりのルートに従ってきたという感じでした。実はその後を含め、全体に成り行きまかせで、自らの意志で現在の専門になったわけではないのです。当時の北大は理類でまとめて入学し、その後各学部に分けられていたので、専門はあとで決めればよいというシステムでした。

専門を選ぶにあたり、なんとなく建築がいいかなと思っていました。ところが、図学Ⅱが必要というのを移行時期になって知り、これもなんとなく関心のあった衛生工学にしました。卒論は先生の人柄にひかれてシステム工学を勉強することになりました。卒論は渦巻式熱交換器、その後はヒートポンプや蓄熱槽の動特性です。そこで物質収支、移動現象、シミュレーション、最適化などを勉強しました。

大学を卒業し就職するつもりでしたが、先生に勧められて、修士、博士と大学に残ったところで、清掃工学の助手のポストが空いたというのでそこに入れてもらったのです。

——ようやくここでごみと出会ったのですね。

当時は廃棄物の研究の創世期で、清掃工学では埋立やメタン発酵が研究の中心でしたから、研究用のごみを作ることからやっていました。例えば、

学生が居る部屋にみかん箱を届け、みかんを食べた皮を集めるのですよ。しかし私は実験が嫌い(笑)だったので、考えた結果、「収集」を研究するようになりました。収集の研究はルーティングが中心で、研究者が少なく、これならできると考えたからです。学生時代にモデリング・物質収支・データ解析・最適化をやっていましたから、この手法を生かしたのです。

清掃事務所に通って、収集車を追跡してデータを集め分析しました。これを行ったのは良かったですね。収集量は、ごみ流れのスタートである発生・排出行動を表しますし、作業の現場を知ることでもできました。その後、ごみの流れに従って資源化、焼却と進み、かなり後になって埋立もやりましたが、現場がどうなっているかをいつも意識できるようになりました。

——結局、収集から、嫌だった埋立までできましたね。

埋立の研究は、ずっと避けてきました。カラム試験などは何ヵ月も続けなければならず、分析も大変だからです。研究室の田中信壽先生(北大教授)が廃棄物学会の埋立部会のリーダーだったので、いつのまにかメンバーに入れさせられて(笑)安定化の考え方を分担していました。欧米の論文を調べたりするうちに、1990年台後半くらいから、埋立の重要性に気が付きました。つまり資源化や焼却などのごみ処理の目的は、最終的には埋立の最適化であるということです。スウェーデンで焼却の講演を依頼されたとき、テーマを見て驚いたのは「Thermal Pretreatment」なんです。「Incineration」ではありません。これは衝撃でした。中間処理でもなく、前処理ですよ。どうも日本での埋立は、焼却に較べると簡単な後始末的な認識があるようですが、そうではない。埋立地に何でも入れたら、安定化するまでに長い時間がかかる。だから、その前に各種のごみ処理技術があるということに気が付きました。欧米の埋立は嫌氣的、日本は準好氣性であり、考え方が違うと思っていました。しかしサルディニアの国際会議の発

表論文を真剣に読んでみると、分別と前処理の違いが背景となっており、最終的な目的は同じであることがわかりました。

もうひとつ研究の道を決めたのは、新しく出てきた「総合的廃棄物処理」という考えですね。収集をやったおかげで、分別や資源化に進み手広くごみ処理を研究することになり、ごみ処理全体のLCAをやっていたところで、「自分がやってきたことはこれなんだ」と思いました。それからいっそう、焼却や資源化といった部分を見るのではなく、全体的に見ないと意味がないという考えが研究のベースになりました。研究とは一部分を深く追求するものとするのが普通ですが、ごみ処理はそれではいけないと。

私の研究の特徴は、オプションを並べてみることです。メタン発酵もコンポスト化も同じことが埋立地内で起きており、外に取り出して工学的に最適運転をしているとの違いです。エネルギー回収も熱的、生物的、いろいろあるので、対象とする廃棄物によっては使い分けができる。目的に対して手段は各種あるということです。ごみに応じてそれぞれに得意な方法がある。広く全体を見ることができたのがいいと思っています。総合的廃棄物処理はISWM(Integrated solid waste management)と呼ばれ、欧米では当たり前に使われている言葉ですが、残念ながら日本で目にすることはありません。

研究ではいつも、データを集めてそれを理解することから始めます。いろいろデータを出して分析すると、おお!こうなっているのか!とわかるのが面白くてやめられないのです。世の中、定量的なデータなしに進められることが多くあります。この研究手法を使ってくれるところがあれば、是非声かけしてほしいと思います。

2. 意欲的に執筆を進める

——今回の出版も含め、広く読まれる本をいろいろ執筆するようになったきっかけは?

大学院での指導教官の田中信壽先生も、本を書

く人でした。田中先生は平成17年に61歳で亡くなられましたが、50代半ばころから社会への提言をする書き物をするようにしたいと言われていました。自ら埋立の教科書を書かれ、廃棄物処理の本と一緒に書かせてもらいました。社会的役割を果たすべきという認識で、論文より多くの人を読めるようなものを書くような考えだったのでしょう。知らず知らずのうちに、田中先生と同じように考えるようになりました。

教科書や一般向け書籍は、形となって長く残るので、大変です。しかしやらなければいけない。ごみ処理の最適化を阻害している主な原因は、自治体や住民の方が科学的知識を得る手段が少ないことです。役所の頻繁な人事異動も重大な問題だと思いますが、それがあっても「知らない」という根源は、わかりやすい良いテキストがないということです。そして、そのテキストは専門家が作るべきものです。今回「科学的に見るSDGs時代のごみ問題」を出版できてほっとしています。

——基本はサイエンスですね。

世の中はサイエンス不在が多すぎます。サイエンスによらない「気分」が蔓延しています。行政が気分支配された「やっている感」では困りますね。高級なサイエンスでなくていいのです。ごみ問題はサイエンスがないと、政治的問題と社会的問題になってしまうのです。サイエンスを分かりやすく「見える化」をすることは、ごみ処理にあっては難しくないと思います。しかし、ごみ処理ではデータが断片化しているのが問題なのです。収集・運搬から最終処分までが総合的につながっていないのです。

3. 現在の焼却施設のあり方にデータから疑問を

——ごみ焼却施設のあり方も考えないといけませんね。

例えば、焼却施設の標準である2～3炉構成が稼働率を下げています。平均的な稼働率は5～6

割で、ひどく低くもったいないです。エネルギー回収量も当然低いわけです。産廃炉のように各施設は1炉にして、点検時は周辺施設でごみを融通するようにすれば、とても効率が良くなり、GHG排出量も減り、コストも下がります。

施設建設の基本データであるごみ分析値も、四分法は手法的には正しくても、その前のサンプリングに大きな誤差要因があります。燃焼から計算される発熱量のほうが確かです。

さらに、総合評価の評価基準が見学者対応や地域貢献の点数が高く、技術的な評価は1割ほどしかない。このあたりの問題については「都市清掃」に寄稿し、もうすぐ掲載されます。

——大防法（大気汚染防止法）の規制値に比べ、自主基準値が低すぎることも指摘されていましたね。

ご承知のように、大防法の規制値自体がすでに安全に安全を見込んだものになっているので、上乗せ基準は必要がないものと言えます。これを住民に説明できないから、できるだけ低い数字を提示することで済ませているのです。

例えば、HClは、乾式とBFの組み合わせで容易に低くすることができるようになって、さらに高反応消石灰や重曹などを使って、かつての湿式並みにできるようになりました。しかし、コストや最終処分場で浸出水への影響を考えると安易に低くすることは良くありません。

NOxも各社で研究が進み、燃焼段階でずいぶん低くなってきました。各社が燃焼だけで50ppmくらいに下げようとしてきています。DXN's対応もあって触媒が設置されている施設も多いので、自ずと低い数値が達成できてしまうのですが、これもコストがかかることになっています。

やりすぎは良くありません。やりすぎた分は余計に税金を投入していることと認識して、自治体も住民も科学的に理解をして適正な数値にしてほしいものです。

4. 基本データの共有はサイエンスへの第一歩

——データ公開へのこだわりがありますね。

この点については、政策を決める研究会などで実施すべきだと考えています。そこでは検討されたメニュー、使用したデータ、データ解析手法を明確にすることが大切です。経過がフォローできなければ、ブラックボックスとなってしまいます。また、多くの人たちが使えるようにする、逆にいうと、常にその最終形を見据えておかないと、せっかくの成果が利用できないものとなります。

よく研究会が失敗するのは、目的がはっきりせず最初の設計をしっかりとしないまま進めてしまうためです。データが集まってから解析方法を考えるのでは遅すぎます。ですから、最初にしっかりとした設計図があって、一定の仮説を用意し、最終的に描く図表のイメージも考えておくことが必要です。

私は各種ごみ処理についてデータをまとめた資料を公開していますが、その理由は、過去の多くの研究は部分あるいは結果だけを公開し、そのために同じような調査が繰り返されていることに気付いたからです。論文では、筋書き上必要なデータしか出さない。集めたデータを自分たちだけのものにしてとっておくことが、多いように思います。これは時間も労力も、そして使ったお金ももったいない。

基本的データを共通的にすれば、効率的にその先に進むことができます。例えば焼却施設の調査結果は全国の一般廃棄物全連式焼却施設を調査したもので、エネルギー消費量などの分布を示しています。分布がわかると、各施設の相対位置がわかります。これがどこを改善すべきかのヒントとなります。研究会などであれば、こうしたデータの公開に対する意識の壁は低いのではないかと思います。ただし施設名は実名としないとなる可能性もありますが。

——どういった施設が最適か？を判断するのは難しいです。

ごみ処理の難しさは全て違うということ。一般化できないのです。ごみが違う・施設が違う・ユーザが違うなど千差万別です。そのために、あるモデルをきっちりと示すことが必要です。しかし現在のように、写真や図でモデルを示すだけではだめです。マテリアルフローやエネルギー収支をきっちりと掲載することが必須です。そうすれば、自分のところで適応できるかどうかを判断できます。現在のようにカッコよく見えるだけでは役に立ちません。それを見た人が、自分でデータを集めて分析しないと、適用できるかどうかさっぱりわからない状況です。これではだめです。

評価基準はさほど多くありません。マテリアル・エネルギー・用役・コストといったところです。当然、出たくないこともなかったことにしてはいけません。メタン発酵でいえば残渣や消化液ですね。収支をぴったりと合わせないといけません。例えば、乾燥物量・水分量・炭素量や、できれば重金属もあわせた収支。そこにエネルギーを乗せればもっといいです。現在の資料ではこれがなく全てが図だけです。これではわからないわけです。

各自治体が持っている基本的なデータで、簡単にマテリアル・エネルギー・用役のINとOUTを見ることができればいい。良い事例も見せて示すのです。しかし、これをやると無駄が多い施設がたくさんあることがわかってしまいます（笑）。

——焼却以外のやり方が進むことはあるのでしょうか？

MBT（機械的生物的処理）はチャンスがあると思っています。もともと埋立の最適化のためだったバイオドライングで水分を蒸発させ、その後選別する方法がもっと採用されてもいいと思います。バイオドライングでは可燃成分の回収が目的です。RDFについては固形RDFにこだわりすぎたのが良くなかった点です。事例としては三豊市の燃料化の事例（バイオマス資源化センターみとよ）が、

仕組みをうまく生かしているものと言えます。全国で採用するわけにはいきませんが、このようにバイオドライングだけでなく、メタン発酵やコンポストも取り入れ方を工夫すべきだと思います。

日本はコンビネーション・オプションをうまく作れないですね。ごみ組成と、それに適応する技術についての幅広い知識をもって実行できる人がいないのです。ここでもマテリアルフローや炭素フローをしっかりと作っていくことです。例えばごみを破碎してからコンポスト化すると細かいプラスチックが残りますが、破袋・除袋を最初に行うとコンポストに入るプラが減るといったような工夫をできることです。よく見られるようにコンポストを作っても使えないというのは最悪です。

一方で、各地で採用されているメタン発酵のエネルギー収支を調べたら、発電しても収支的に良くないことがわかった事例もあります。FIT制度に隠された非効率です。まずは全てをざっくりと計算したものを見せることが必要です。メタン発酵の焼却施設併設が推進されていますが、廃棄物資源循環学会の焼却部会では、これを評価して部会の考えを出してほしいですね。

また、建屋があることでコストが上がって電力も多く必要としています。産廃施設や化学工場は建屋がありません。このほうが合理的だからですね。幸いメタン発酵施設は建屋がありませんから、これを機会にもっと建屋を削減した施設が増えるべきでしょう。建屋の有無の合理性もエネルギー収支があればわかるはずです。

5. GHG対応とリサイクル

——どういったリサイクルが最適なのか、判断が難しいです。

リサイクル含め、エネルギーやマテリアルのフローが最適化されることが重要です。廃プラの問題も含め、焼却がひとつの手段として入ることのほうがCO₂削減を含め全体で最適化されているはずだと思いますが、そこがしっかりと評価できる数字がないのが問題です。

例えばLCAで評価すればバイオプラスチック等の導入が決して良くないことがわかると思います。製造におけるGHG排出量が大きいと思われるからです。こういったところが、前述の「気分」で動いているということであり、サイエンスから遠ざけています。

サイエンスに則ればリサイクルはむやみにやっではいけないことがわかります。リサイクルすることで温暖化を含めた環境負荷が上がることも多々あることです。問題は、これを分析するためのデータが十分ではないのです。これはつらい。現段階でも、まずはデータ収集から始めないといけない状況です。リサイクルの温暖化への影響は、分別方法からその程度、装置の収率の問題などにより相当異なります。これを一貫したデータで評価すれば、どういったやり方がいいか容易にはっきりします。やはりマテリアルフローとエネルギー収支（リサイクルでは圧倒的に電力）です。

——廃プラ問題は輸出規制や海洋プラなど含め注目されています。

レジ袋有料化は意外にインパクトを持ったと思っています。プラスチックのメーカー側が動き出したからです。これでプラスチック全体に動きが出てくると期待しています。プラスチックについては、行政や市民だけでは何ともできないのです。

海洋プラとの廃プラ問題は切り離れたほうがいいでしょう。プラスチックリサイクルの仕組みを見直して、しっかりやればいいのです。特にマテリアルリサイクルをしっかりすべきです。PEとPPを中心に可能な限りマテリアルリサイクルをするように制度化すべきです。これは住民や事業者など排出側のとるべき対応も大きいものですが。

例えば、PETボトルを捨てるときは、なぜラベルを取る必要があるか？ということを示すべきです。キャップに比べラベルは機械的な分離が難しいので、ちゃんととってくださいと説明すればいいのです。「こうすればリサイクルできる」ということをはっきり住民に示さないと、訳もわからず分別だけが目的となってしまいます。どういふも

のを出すべきか、とともに何がなせいけないかを示さないといけません。メリハリが必要です。

我が国では周囲を見ても、ヨーロッパに比べ散乱したストローはありません。だからストローはプラでいいという判断もあるでしょう。PET to PETも進んでいます。プラを完全になくすのは無理です。生分解性プラなどが入ることは、リサイクルがややこしくなるだけだと思っています。

6. 現在の制度の変革は期待できない

——廃掃法の見直しなど抜本的な変革は期待できますか？

日本の特徴は決めたら変えられないことです。一旦始めるとやめることができませんし、決めたことを前提に何とかしようとするのです。省庁間の壁が高いことをご承知の通りですね。このため全体の仕組みを誰も検討していないことは大きな問題です。各省庁では一部の断片しかやっていないのです。政治的な判断があれば変わるかもしれないのですが、未知数です。ヨーロッパは政治家に科学者が多くいますね。日本はその道のプロを軽視しています。うまく使っているだけという印象です。新型コロナでも専門家を軽視していますね。これは多くの委員会も同じです。専門家はほとんどいないのです。これでは役にたたない。最悪です。

——ごみ焼却施設の総合評価のやり方にも疑問があるとのことでしたね。

総合評価に関わるメーカーは相当な努力をして、大変なコストをかけています。しかし、その評価はほとんど技術と関係ないのが現状で、地元貢献、見学、デザインなどの点数が高く、エンジニアがかわいそうです。評価委員も地元の方が中心で専門家ではないことが多い。これは、お互いに不幸だと思います。どこに力を入れるかをちゃんと考えないといけないのです。純然たる技術に差がないのであれば、単純な入札かくじ引き（笑）でいいではないですか。

最終処分場の評価のほうがまだ、技術が中心となっています。最終処分場は見学設備もないし地域貢献もない。評価方法は自治体が決められるのだから、このあたりでしっかりしたものにするべきでしょう。変わらないのはコンサルの影響も大きいですね。

——委員会・研究会嫌いのようですね。

2～3年で異動してしまう自治体職員は、専門家の意見を聞くのは面倒と考えてしまうのでしょうか。研究者の役割は正論の発信だと思いますが、それをやると煙たがられます。筋書きとは異なる余計なことをいう人は邪魔ですよ。だからあまり呼ばれないのですが、委員会の構成はいつも同じで決める方向性は変えられないならば、行かないほうがましではないですか。無駄に時間を使わずにすみませし。

しかし、決して悪い事例だけではありません。数年前にメーカー・自治体・コンサルとやった研究会は、大変に良かったです。普通は所属から人を選びますが、自治体の方も「廃棄物に長く携わり、知識のある職員」を個人的ルートで探し、本当に自由な意見を交換できました。啓発されることも多く、今回の本を書くにあたり大変役に立ちました。例えばリサイクル率の定義については、排出量とリサイクル率が相反、国の指標とリサイクル率は違う。リサイクル率の定義「仕向け量」なのか「回収量」なのか、目標とすべきはさまざまな資源化の努力のあとに残る本当のごみである、などです。異なる視点から眺めることの重要性を、実感しました。

——身近な学会の進め方にも苦言が？

廃棄物資源循環学会（松藤教授は元会長）は和文誌をもっと大切にしてほしい。インパクトファクター付きの論文を書くことが研究者には求められますが、論文は特殊性が高く、英文では現場に情報を届けられません。日本の学術情報誌としての役割をしっかり果たすべきです。

そして各部会で、読みやすい薄いブックレット

を出すべきです。学会誌の特集も、執筆者が一生懸命書くためでしょうが、文章が難しいです。誰にでも簡単に読めるものが欲しいですね。

7. 意外な出版物

——先生の著作を見ると、工業高校の生徒向けや子供向けの書籍があるのですね（写真2）。

この実教出版の「環境工学基礎」は、工業高校の生徒の教科書として、いろいろな先生方と分担して書いたものです。これはなかなか評判がいいですよ。表紙を変えた一般書としても発行されています（「環境工学入門」実教出版）。この手の昔の本は、あまり関係ないのに法律が入った結果つまらなくなっているものが多かったのです。

この執筆はいい勉強になりました。限られたページで何を書くべきで何を書かないほうがいいか、かなり迷いました。そして、これほど他人（担当者）から文章を修正されたことはありませんでした。教科書ですから誤記があってはならないのはもちろんですが、全編一貫した書き方が要求されます。全体を通して書くことの圧倒的な難しさがあります。

この本は、大学だけでなく、工業高校の先生方と分担しました。論文は書けても、わかるように書けない大学教授もいる中で、皆さんのわかるように書く能力に感服しました。

文科省の検定で、この本はほとんどコメントがないままOKとなり出版社の方が驚いていました。3～4年かけた別の教科書がボツになり努力が水泡に帰したこともあったそうですから。

——（中身を見て）とても分かりやすい表現が随所にありますね。これは我々エンジニアが読んで面白く役に立ちます。ちょっと専門外のことを知るにもいいですね。うん、これはいい。

教科書ですから、表やグラフなどは頻繁に最新版に差し替えられます。一般の書籍では改訂版が出るまでデータは古いままですから、ここは教科書の有利なところですね。執筆者仲間では、大学



写真2 教科書と子供向け書籍

生でもちょうどいいレベルとの声が多数です。

EMS（環境マネジメントシステム）の審査員はこういうことも知らないといけないので、この本を見られた方に呼ばれて関係者に講義もしています。

——先生が監修された子供向けのこちらの本は図鑑のように見えて楽しいですね。

全6巻からなる「調べよう ごみと資源」（小峰書店）です。小学校3年生、4年生あたりをターゲットにしています。教科書を見た編集者が私に声をかけたのがきっかけです。掲載の写真はこの本のために、カメラマンが各地に撮影に行ったものです。

8. 人材育成が重要

——教科書とともに人材育成にも注力されたいとのこと。

総合的な見方をできる人材の育成が重要です。顧客（自治体職員）や住民に十分な知識がないことが課題だということは前述のとおりです。各種委員会に出ると、コンサルが出す資料はどこかの横流しが中心で、見たことがあるものばかりです。これで済まそうということではだめです。

まだ何も準備をしていませんが、私は大学を辞めたら、必要とされるところで何でもお手伝いしたいと思っています。私は裏方が好きです。例えば委員会の委員長のおときは、事務局と資料を作り、



写真3 自宅の畑にて

委員会では事務方をサポートするようにしてきました。委員会の際に委員長が事務方に厳しいことは座がしらけますし、その場で資料修正が多数出てくるのは、委員会の開催回数を増やすだけです。これではいい委員会にならない。総合的な振り回しをする知恵出しをしたいのです。まあ、本当はコンサルがすべきですね。

——社会への知識の還元ですね。大学教員を続けられる選択肢はないのですか？

大学で教えても、学生はどこか違う分野に行ってしまうのが大多数です。本当に教育の対象とすべきは、学生ではなく自治体の方や企業の方、現実の対象に向き合い、問題を意識している人だと思っています。そこで直接的に知識の還元をしたいのです。総合的な見方をできる人材育成につい

ては、要望があればメーカーでもどこにでも出向きます。

現在の大学は、いろいろ制約が多く面倒なのです。論文と外部資金で評価され教育は二の次になっています。永く研究者をしてきたので、社会に知識の還元をするのが使命だと思っています。一方で、もっと家でぼ～っとしていたいと思うものの、大学に来るのが習性なので外での仕事も一定程度持っていたいと思います。

9. おわりに ～いまは畑仕事が好き～

——研究以外の趣味や楽しみは何ですか？

昔は趣味でリコーダーの合奏団をやっていました。20代から50代までやっていたのですが、田中先生が亡くなってやらなければならないことも増えて血圧も上がったのをきっかけに、やめてしまいました。腕前がよければそうでもなかったのですが、努力しないのでついていくのが困難となり、続けること自体がストレスとなってきました。

今は家で畑をやっています。十数種類の野菜を作っています。畑を見ていると心がなごみますね。作業中は頭が空っぽになるのがいいです。

——どうもありがとうございました。これからも健康に気を付けて活躍されることをお祈りします。