

浜辺のプラスチックペレット拾いから始まった日本発祥の研究

愛媛大学名誉教授 鈴木 聡 (1985 年博士課程修了)

1. はじめに

「マイクロプラスチック」や「海洋プラスチック」は、今や世界中で誰もが知っている環境汚染物質である。様々なプラスチック製品が環境へ放出されると、最終的には海洋に行き着く。環境中ではプラスチックは紫外線で劣化し、物理化学的に細粉されて微細化する。直径 5 mm 以下になったものをマイクロプラスチックと呼び、これは食物連鎖や様々なルートを通してヒトを含むほとんどの生き物の体内に入り込んでいる。1960 年代から海洋生物の体内にプラスチックが見つかることは知られていたもので、海洋プラスチック汚染は最近起り始めた問題ではないことは自明である。しかし、この問題に科学の光が当てられたのは比較的最近になってからである。

プラスチック自体は消化されずに体外へ排出されると思われがちだが、そう簡単な問題ではない。プラスチックそのもの、およびプラスチックに含有されたり付着している物質によって健康被害が起こるのである。主要な付着化学物質としては、ポリ塩化ビフェニル(PCBs)や有機塩素系農薬の DDT、添加剤としては臭素系難燃剤や紫外線吸収剤などが含まれる。

汚染状況や毒性については、すでに世界中の研究者たちが大量に論文を出しており、マスコミなどでも報道されて一般的にも知られてきた。プラスチック問題の現状については、わかりやすく書かれた成書¹⁾のご一読をお勧めする。

科学的にも社会的にも大きなテーマ(問題)になっているプラスチック汚染だが、最初に環境プラスチックに目をつけたのは日本の研究者である。本稿では、その研究が始まる頃のエピソードを述べ、研究のオリジナリティとはなにか、についても触れてみたい。

2. プラスチックペレット・ウォッチ

1990 年代に世界で最初にプラスチックに着目したのは国立医薬品食品研究所の大竹千代子研究員と東京農工大の高田秀重教授である。

様々なプラスチック製品を作る際には、中間材料のレジンペレット(図 1)を使うが、これが数十年前から環境に漏れ出続けており、世界中の沿岸に

流れ着いている。彼らはこれに目をつけ、1998 年にレジンペレット中のノニルフェノールを測定し始めた。

ノニルフェノールは当時内分泌攪乱物質として注目され始めていた。プラスチックに酸化防止剤として添加されるトリスノニルフェノールフォスファイトが分解してノニルフェノールが生成されるという仮説に基づいて着目された。高田さんは確かに高濃度のノニルフェノールを検出したが、加えて、抽出過程の微極性画分からは高濃度の PCBs も検出した。PCBs といえば 1968 年にカネミ油症の原因となった物質として知られ、高濃度での急性毒性のほかに、低濃度の慢性毒性としても、催奇、発がん、生殖障害、脳神経障害などが起こる。ではなぜ海岸に打ち上げられたプラスチックペレットから PCBs が検出されるのだろうか。環境濃度の調査も行ったところ、海域の PCBs 汚染状況とプラスチックペレットの PCBs 濃度に相関が見られた。合わせて、新品のバージンペレットを使った PCBs の吸着実験を行い、プラスチックペレットは経時的に環境中の PCBs を吸着・濃縮することが明らかになった²⁾。これは世界の海洋に広く分布するプラスチックペレットが有害化学物質の輸送媒体であり、環境モニタリングの媒体になりうることを示している。さらに、図 1 に示すように、ペレットには白いものや黄色味があったものがあるが、これはフェノール系化合物の酸化によって着色が進むためであり、黄変



図 1 プラスチックペレット(高田、ぶんせき、2015、29-34 より)

度は環境での滞留時間を反映していた。高田さんは様々な条件検討を経て、最終的にプラスチックペレットを標的として、国際的に海洋の汚染状況を調べる「International Pellet Watch (IPW)」をスタートさせた。2005年のことだった。

高田さんは、論文発表のあと、いくつかの国際会議で IPW の有用性を訴えた。国際雑誌でも「Call for pellet」のムーブメントが作られ、ホームページも整備された。さらに、2005年9月に、チャールズ・モア³⁾が主催したロサンゼルスでの国際シンポジウムで高田さんが招待講演を行い、この時から公式に IPW 活動が実際に世界的に展開され始めた。

世界中の IPW 参加者は、浜辺でペレットを拾い集めてアルミホイルに包んで封筒に入れ、エアメールで農工大あてに送る。それを分析するのだ。散歩のついでに拾うことができ、送付も楽。多くの協力者の参加によって IPW は進んだ。その成果が最初に発表された論文では小生もわずかながら協力でき共著者となった⁴⁾。

基礎研究だけで終わることなく、社会活動を起こし、科学的成果は当然ながら国際的に還元する。このような高田さんの姿勢と行動力は環境科学者の理想的な姿である。彼はその後、2016年には国連の海洋と海洋法に関する会議に招待され、国際プラスチック条約につながる提案を行った。早急な生産量規制も含めた条約成立が望まれる。

3. 浜辺のプラスチックペレット拾い

小生は2003年の文科省プロジェクト(人・自然・地球共生プロジェクト)で高田さんとチームを組んで以来、定年時までずいぶんと長く共同研究を続



図2 学生らと台湾南部の浜辺でプラスチックペレットを採取する筆者(2009年)

けた。彼は環境中の抗菌剤・抗生物質の定量も行なっていることから、小生の主要な研究テーマである薬剤耐性菌研究にも参加してくれたという訳である。そして小生も IPW などの環境汚染化学のプロジェクトに参加した。

砂浜でよく目を凝らすと、砂粒の中に図1のようなプラスチックペレットを無数に見つけることができる。これは世界中の浜辺で同じように見られる。

IPWに参加すると、初めに高田さんからピンセットとアルミホイルとエアメールの封筒が渡される。どこかへ旅行や調査に行ったときには、浜辺へ降りてこれらを使ってプラスチックペレットを採集して送り返せということである。

小生はプラスチックペレットのほかにも環境汚染マーカー物質のサンプリング法を現場で高田さんのやり方を見て習得し、研究展開にたいへん役立った。その後も自分のプロジェクトの調査先で、微生物や遺伝子の調査以外にもペレット拾いを行った。慣れると難しい作業ではない。一例として台湾南部(2009年)でペレット拾いを行ったときの写真を示す(図2)。

IPW参加者には採集セット以外に、高田さんから図3のような真空断熱水筒が渡されており、採集時の水分補給用を使用する。ペットボトル飲料は買わない。高田さんご自身はTV出演の際には何度もこの水筒を例として示し、使い捨てプラスチック



図3 International Pellet Watch (IPW)参加者に配布された断熱水筒。参加者は使い捨てプラスチック容器などの使用削減を心がけるよう啓蒙活動もする。

ック容器等を極力使わないこととプラスチック汚染の重要性を啓蒙している。小生もあちこちでこれを見せて同様にプラスチック汚染を語っている。これも IPW メンバーの重要な仕事である。

高田さんは環境分析化学者で、小生は環境微生物を専門とするが、お互いのプロジェクトにおいていっしょに調査に行くことで、本来なら専門外の事象でも、現場で新しい着眼点での環境問題を発見でき、広い学問分野へ目を向けることができた。学問の展開では井戸の中や重箱の隅で研究をしているだけでは重大な問題を見つけたり新しいアイデアを思いついたりできないことも多いのではないだろうか。自分の観察眼を鍛えることは自然科学の基本だと思う。

4. プラスチックを介した化学物質毒性の増幅

環境科学は、最終的に地球環境・生態系の保全と人類の福祉に寄与することを旨とする学問である。単に自然環境を解析するのではなく、常に人間との関連性を中心に置いて考える。薬学部出身者が理学部の化学とどこが違う？ と問われたときに答える薬学のポリシーと似ていると思う。

横道に逸れるが、小生が長く奉職した愛媛大学沿岸環境科学研究センターは英名では Center for

Marine Environmental Studies (CMES)としているが、これは Environmental Sciences(自然科学)に加えて、社会科学的視点も含めようという設立当初の意思を示したために Environmental Studies となった。

さて、プラスチック汚染研究は上述のように、化学物質の地球上でのダイナミクスのみならず、毒性学や社会・政策まで至る問題に発展した。図 4 は IPW で得られた PCBs の世界の沿岸での汚染状況を示したマップである⁵⁾。PCBs が高濃度で検出されたのは米国西・東海岸、五大湖、東京湾、大阪湾、西ヨーロッパなどの工業国沿岸だったが、発展途上国やハワイ、セントヘレナ、ココスなどの大洋の島々でも低濃度ではあるが検出されている。つまり、地球全体に PCBs 汚染は広がっていることがわかる。このような微細なプラスチックを知らず知らずのうちに体内に摂取していくと何が起こるだろう。

海鳥ではプラスチックが体内に取り込まれると、吸着している低塩素化体 PCBs などの化学汚染物質はプラスチックから体内の脂肪組織へ移行することが示唆されている⁶⁾。その結果 PCBs の生物濃縮が起こると考えられる。海鳥の研究から我々人間の行末が見えてくるかもしれない。



図 4 世界の海岸漂着レジンペレット中の PCB の濃度。単位は $\Sigma 13\text{PCB- ng/g-pellet}$; $\Sigma 13\text{PCB}$: CB#66, 101, 110, 149, 118, 105, 153, 138, 187, 180, 170, 206 の合計値(高田、ぶんせき、2015、29-34 より)

最近では、化学物質の問題のみならず、マイクロプラスチックの表面では細菌間でのプラスミドの水平伝達が起こりやすいこともわかってきた⁷⁾。プラスチック表面には有機物が吸着し、それを基質(えき)とする細菌がコロニーを作る。多種の細菌が共存すると、細胞間での遺伝子伝達が起こる。マイクロプラスチックは自然環境で薬剤耐性遺伝子形成と拡散の場にもなることが示唆されている。

5. オリジナルサイエンスとは

本稿を読んでいる方々のなかには、これから科学者をめざす人も多いと思う。そのような方々には、「誰かが作った問題を解くのではなく、あなた自身が問題を作る」ところから始めて欲しいと思う。今回とりあげた環境プラスチック汚染の研究は日本発祥研究の一例だが、このように最初に自然現象や生物現象に気づき、最初に解答例を作ってゆく作業こそがオリジナルサイエンスだと小生は考えている。

科学の正しいプロセスは、大まかに言うと「1:自分で観察して問題を見つけ、2:自分で問題を解いて、3:自分で論文を書く」という手順であり、これを一人(or 少人数グループ)で行うのが醍醐味でもある。昔から自然科学では欧米発祥の研究が多く、日本を含む東洋からの論文は、2 から始まるものが多くはないだろうか? つまり、誰かが問題を発見・提示した後にそれを解くところから始める研究である。小生は、これは本来あまり高くは評価できないと考えている。

最近では綺麗な論文をたくさん書いてたくさん引用されるのが研究者の高評価に繋がる風潮にあるが、本当は最初の発見(目をつけた研究)こそがオリジナルサイエンスではないだろうか。ノーベル賞を取った人たちの最初の論文は意外とシンプルで短いものだったりする。細かいところまで解析

した緻密な論文もすばらしいが、新しい発見から問題点を提案できるような鋭い観察眼こそが科学者としての能力の基本ではないかと思う。

今回は芳香編集長の松田彰さんから環境化学に関連するネタを書くように要望がありました。サイエンス現場から離れた現在、思い起こすと、これまで関わった様々な環境研究の中では高田秀重さんとの数多い調査行の思い出が大きく、今回の執筆となりました。きっかけをくれた松田彰さんと高田秀重さんに感謝いたします。

文献

- 1) 高田秀重(監修), プラスチックの現実と未来へのアイデア: 東京書籍 ISBN978-4-487-81260-8 C2030, 143 (2019).
- 2) Y. Mato et al. *Environ. Sci. Technol.* 35, 318-324 (2001). doi.org/10.1021/es0010498
- 3) Charles Moore: アルガリータ海洋調査財団設立者。海洋環境研究者、海洋カメラマンなど。調査船アルギータで北太平洋ごみベルト調査を行い、海洋汚染危機を訴える活動先駆者となる。著書に「プラスチックスープの海」(NHK出版、ISMB978-4-14-081560-1 C00982012)
- 4) Y. Ogata et al. *Mar. Pollut. Bull.* 58, 1437-1446 (2009). doi: 10.1016/j.marpolbul.2009.06.014.
- 5) 高田秀重, *ぶんせき* 1, 29-34 (2015). <http://id.ndl.go.jp/bib/026051752>
- 6) R. Yamashita et al. *Mar. Pollut. Bull.* 62, 2845-2849 (2011). doi: 10.1016/j.marpolbul.2011.10.008.
- 7) M. Arias-Andres et al. *Environ. Int.* 237, 253-261 (2018). doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.058

同窓会 HP: 2025年9月16日公開