

化学物質管理を支える環境分析 - 予測モデル, トレーサー, 毒性情報 -

昔の話で恐縮だが、以前、実験化学講座の環境化学に関する章の執筆機会をいただいた¹⁾。環境分析を中心に記述したが、特に強調したのは、対象となる環境、人や生物、生態系、さらには人間社会をシステムとして把握し、その状態を評価し相互作用を理解するために分析手法を進展させ、体系化していくことの重要性であった。

環境分析は、化学物質管理のための重要な基礎である。環境レベルと毒性レベルとの比較からリスクの有無や規制の必要性の判断を行い、環境基準や排出基準が設定された場合はそれらの遵守状況を監視する。汚染範囲の特定や、主要な発生源の探索にも重要な役目を担う。さらには、規制や対策の効果の確認、新たな懸念物質の探索なども重要な役目である。化学物質管理の立場からは、人間の社会経済活動における化学物質の製造、使用、廃棄や再利用のプロセスの中で、人へのばく露がどこでどのように起きるのか、またどこから化学物質が環境中に放出され、どのように環境をめぐる、時には形を変えながら、野生生物に、さらには人に蓄積されるのかを理解することが重要となる。サブスタンスフロー分析、あるいは環境動態モデルと連携しながら環境分析を進め、モデルの信頼性を高めて、最終的には適切な規制・管理体制の構築に貢献することが期待される。例えば国立環境研究所のG-CIEMS²⁾のように、地理情報システムと組み合わせながら化学物質の環境動態をモデル化することで、PRTRによる事業所排出情報等と組み合わせることで様々な化学物質の環境濃度を予測できるモデルが構築できる。環境分析結果と比較してモデルの信頼性を高めることで、将来予測や的確な規制、対策の立案、災害発生時の汚染予測や対応策定など、化学物質管理の推進に向けて大きく貢献できるものと期待される。

一方、環境中の元素や同位体、あるいは残留性の高い有機化学物質は、大気や水の流れを追跡するトレーサーとしても有用で、これらの動きを記述する数理モデルの向上や評価を通じて、システムとしての地球環境の理解の推進に役立つ。特に同位体は環境中での物理化学的プロセスあるいは生物代謝等に伴い、特徴的な分別を示すことから、地下水の起源の推定や水循環の解明、食物網の解明から気候変動の歴史研究まで、様々な目的で活用されている。同位体分別の割合は一般に同位体の質量に比例するので、3つ以上の同位体が存在しても1次元情報しか得られない。しかしながら、例えば水銀では光化学反応に伴う質量非依存性分別(MIF)の存在が明らかとなり、異なる組み合わせの同位体同士の分別を多次元的に利用することで、環境中の水銀がどのようなプロセスをたどりながら循環しているのかを理解できるようになってきた³⁾。また、高エネルギー宇宙線により大気中や地表で作られる長寿命の放射性核種(¹⁴C, ¹⁰Be, ²⁶Al等)を使って年代測定を行い、過去の地球の歴史(特に気候変動や表層環境の変化)を明らかにしたり、炭素循環のトレーサーとして活用するなどの研究も盛んに進められている⁴⁾。最近、宇宙から降り注ぐミュオンを使ったピラミッドの研究が話題を呼んだが、地球に降り注ぐ宇宙線を活用した環境研究はすでに長い歴史をもっており、システムとしての環境の理解の推進を支えている。

化学物質管理において重要なカギを握るのは、人や野生生物、生態系に対する毒性情報である。生命科学の進展とともに、いわゆる環境ホルモン問題など、化学物質による生物情報伝達のかく

乱が重視され、研究が進められてきた。核内で遺伝子の転写制御を行うアリールヒドロカーボン受容体 (AhR) やホルモン受容体へ、それぞれダイオキシン類、或いはビスフェノール A (BPA) 等の内分泌かく乱化学物質が結合することにより、生体に様々な悪影響が及ぼされる様子が明らかにされた。さらに、これらの受容体との結合の強さを指標とする、新たな有害物質のスクリーニング手法も開発されてきた。ホルモンなどの情報伝達物質は、水溶性の高いグループと脂溶性の高いグループに大別できる。後者は脂質二重膜からなる細胞膜を通過できるが前者は通過できないため、それぞれ細胞表面、並びに細胞内に受容体を持つことが知られていた。脂溶性の高いダイオキシン類や BPA などが核内受容体と結合して影響を及ぼすことはこうした常識とも合致し、これらの物質の毒性発現機序の概略が明らかになったものと思われた。しかしながら、最近の関連研究の推進により、BPA や PCB の標的タンパク質は核内のみならず膜上にも存在することがわかってきた。逆に、一つの受容体を様々な化学物質が標的とするケースも、いくつも見つまっている。複雑な細胞内情報伝達の機序の解明とともに、有害化学物質による生体情報伝達のかく乱の複雑な様相もまた明らかになりつつある。

毒性情報は化学物質管理の柱の一つであり、環境分析にとっても分析対象物質の選定やリスク評価等のために欠かすことができない。しかしながら、生物、生態系をシステムとして理解し毒性を予測可能な形で扱うことは、まだ部分的にしかできていない。また、近年ではナノ粒子、ナノ繊維やマイクロプラスチック等、微細粒子・繊維状物質の分析と毒性評価という難しい課題への取り組みも求められている。システムとしての理解を助ける分析の推進に加え、毒性情報が不十分な中で、環境分析をどのように進め、その結果をどのように化学物質管理に活かすのかも、今後の大きな課題と考えられる。

文 献

- 1) 柴田康行：“実験化学講座”，20-2, p.42 (2007)，(丸善)。
- 2) 国立環境研究所：“環境儀”，No.50「環境多媒体モデル—大気・水・土壌をめぐる化学物質の可視化」，(2013)；available from <<https://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/50/50.pdf>>，(accessed 2019-10-28)。
- 3) 山川 茜：“地球をめぐる不都合な物質”，p.113 (2019)，(講談社ブルーバックス)
- 4) W. Kutschera：Adv. Phys. X, 1, 570 (2016)。

略 歴 1977年 東京大学 理学部 卒業
1982年 東京大学大学院 理学研究科 生物化学専攻課程 単位取得退学
1982年 国立公害研究所 研究員
1993年 国立環境研究所 化学環境研究部 動態化学研究室長
2004年 (独) 国立環境研究所 化学環境研究領域長
2011年 同 環境計測研究センター 上級首席研究員
2015年 定年退官 同フェロー

専門分野 環境化学、環境分析

受賞歴 1998年 日本環境化学会 学術賞
2006年 日本環境化学会 功績賞
2015年 環境保全功労者表彰

