

# One-world chemistry と地球の持続可能性の探求

Henning HOPF, Goverdhan MEHTA, Alain KRIEF, Stephen A. MATLIN

## はじめに

21世紀の世界が直面する緊急かつ深刻な問題の多くは化学によって解決出来るだろう。例えば、世界中で見られる都市化と急速な人口増加による食料、水、住居、エネルギーの需要の際限のない増加、地球の天然資源の枯渇、工業生産と増加する消費から生み出される副産物や余剰物や廃棄物による環境汚染などである。また、この1~2世紀の医療と公衆衛生の進歩は寿命を画期的に伸ばしたが、多剤耐性菌の発現や新規の難病と定期的にかかる疾病の大流行の脅威は、世界の医療システムと現代医学を脅かす世界的な危機であると考えられている。

これらの挑戦に最も効果的に立ち向かうためには、化学には3方向での大きな変革が必要である。それは、ミッションの再設定、教育・実践・コミュニケーションの方法、そして専門家組織のあり方と化学の推進方法である。

世界はこれらの問題の深刻さを認識し、それらを解決する努力をするようになってきた。しかし、その歩みは、常に簡単で迅速なものではなく、後退をとまなうものだ。2015年に気候変動にパリ協定が採択され、翌年に施行されたのは、1997年の気候変動に関する京都議定書の採択から20年も経ってからだ。また国連において、持続可能な開発目標 (SDGs)<sup>1)</sup>が2015年に合意されたのは、1992年に国連環境開発会議(リオの地球サミット)が開催されてから4半世紀後のことであった。深刻化する細菌の抗生物質耐性の問題も世界中で解決策を探求しているが、最良の議論の枠組みすら、争われている状況である。

化学はイノベーションをもたらし、広範な技術の基盤となるが、これは、気候変動問題や、SDGsの達成、そして疾病との戦への新しいアプローチとして極めて重要な貢献をなし得るとのことだ。

こういった危機が世界で増大する中、化学自体も根

の深い試練に直面している。この分野に関する正当な理解は広く欠如しており、メディアや一般市民は化学を汚染や毒などと結びつけて考える。そして一方で新しい科学は、もっと魅力的で、ワクワクする、未来志向で世界中の注目を集めるようなブレークスルーをもたらすようなイメージがある。

## One-World Chemistry

化学は、現在の、また将来の試練にどのように最良の方法で応えることができるだろうか？我々は、この分野の方向性を変えることを提案した。それはまず、人類や動物の健康と生物学的・物理学的な地球環境が密接につながっているという認識を持つことである。そして、次にこの事実を最優先にするならば、化学はどうあるべきなのかという問いかけにつながる。この問いについて考えると One-World Chemistry というコンセプトにつながる。それは、化学はそのスコープを科学の一つであるというものから広げ、そのミッションを社会の益となるための科学の一つという風に方向を変えることである。そのためには、化学は単により便利な応用を探求することを乗り越え、先に進まなければならない。21世紀に世界が直面する大きな試練に対応するだけでなく、化学を応用することによって、全ての分野で起こりうる副作用、害などを予測し、起こらないように努力することである。

One-world chemistry とは以下のコンセプトである。

- ・化学は単に科学ということを超え、社会の益となる科学という意味合いをもつ。
- ・化学は持続可能な開発という難題に対応していくための重要な役割を担う。
- ・システム思考が、化学の教育、学習と実践において欠かせないものである。これは人類と動物の健康と生物学的、物理学的な地球環境が密接につながるシステムであり、化学が現代の問題を解決する際に、これらのシステム間の相互作用について認識してお

く必要がある。

- ・学問領域を超えたアプローチが科学としての化学の進化と 21 世紀の問題に実践的かつ持続可能な解決の両方において必須である。

化学は、倫理的な科学でなければならない。

### システム思考

人類と生物の健康と生物学的、物理学的地球環境の相互作用を考慮するには、直近の個々の問題を超越して考えなくてはならない。全てのシステムに気づき（化学的、生物学的、環境システムなど）、それぞれのシステムがどのような内部ダイナミクスを持っているか、また、それぞれのシステム同士がどう関わり影響を与えているかを理解しなくてはならない。つまり、One-world chemistry では化学者がシステム思考に関わる必要があるのだ。

例えば、化学物質のライフサイクルを考えてみよう。

- ・化学反応によって、研究室レベルか大規模な製造工程におけるものであれ、副産物が生成され、それは処理されなくてはならない。安全で持続可能な方法での格納、廃棄、リサイクルなどである。
- ・使用される原材料は、それが天然物であれ化学的な中間体であれ、その調達は効率的で、汚染がなく、安全で持続可能でなくてはならない。
- ・製品は家庭、医療現場、産業、農業など多様な用途に使われ、人、動物や環境と触れることになる。したがって、それらは生物学的かつ環境的な安全性を担保するために試験されなくてはならない。
- ・製品や使用に伴う廃棄物は効率的に汚染がなく、安全で持続可能な方法で廃棄されるか、リサイクルされなくてはならない。
- ・全ての段階において、製品が製造され、使用され、廃棄される「化学的なシステム」は、「人間システム」と関わっている。化学に関わるプロセスは、ただ勝手に起こってしまう訳ではない。それは人が単独もしくは集団で決定を下した結果である。それは様々な人間のモチベーション、例えば好奇心、成功、富、権力、快楽の欲望などである。そしてそれらは、法的な制限や、社会的な圧力、特定地域もしくは地球全体のゴール達成への動きなどの影響を受ける。
- ・「化学的なシステム」は、したがって、諸々の他のオーバーラップするシステム、生物圏、環境、人類や生物の健康、経済、政治、心理、法などにつながっているのだ。
- ・有用な取り掛かりは、「グリーンケミストリー」の実

践だ。

### 学際性

化学を、多くの他分野とのつながり方、関わり方なども含め、再構築するにあたり、必須なことは、教育と実践の際に、システム思考が取り入れられ、その結果、他の分野にわたるようなアプローチを取り入れることである。このような学際的なアプローチは、状況によっては、いくつかの、または、多くの分野、または分野を超えたものになるだろう。

これまでは化学がはっきりと定義された個別の学問的分野として進化し、非常にうまく機能してきた。それによって研究のベースが安定し、基盤的知識が構築され、化学産業、バイオテクノロジーや素材産業に貢献してきた。この基盤から化学は他の科学分野と関わり、生物学や物理学の諸々の理論的な、概念的な、実践的な進歩に貢献してきた。しかし、科学の性質、例えば、どこでどのように、誰によって実施され、資金提供を受けるのか、どのようにそれぞれの分野が関わるのか、解決しようとする問題の複雑さ、知識がどのように作られ蓄積され、共有され、評価されるのかなどが、21 世紀のグローバル世界において根底から変わってしまった。伝統的で他から隔離された化学は、このような変化とは相いれず、化学の位置付けとその境界を超えた取り組みのあり方に、根本的な見直しが必要である。

伝統的に化学者の多くはまずその分野の中で訓練を受け、それから他の分野の科学者たちと関わるようになることが多かった。しかしながら、このような科学の区分けには欠点がある。

- ・複雑で成熟した化学のような分野においては、研究のインスピレーション（それは基礎であれ応用であれ）と課題解決能力は往々にして分野外からの試練もしくは知識からくることが多い。そして化学は、ますます先進的な技術、コンピュータ処理、分析機器、生物分析・バイオテクノロジーのプロセス、観察手法、測定、操作法などに依存するようになっているが、これらの多くは他の分野から来たものである。
- ・それぞれの独立した学問分野には、確立された方法論やプロセスがある。早い段階で、他の科学分野における考え方、使われるプロセス、テクニック、測定基準、仮説の立て方と検証方法、純度や証明などの概念に用いる基準、その分野において重要な基礎と応用の課題などを学ぶことは、有利である。
- ・分野を超えて効果的に仕事をするには自然にでき

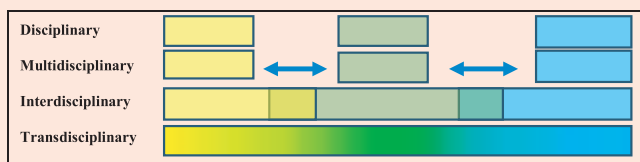
ることではない。それには、他の分野の知識を習得するだけでなく、様々なスキル、コミュニケーション、枠にとらわれない思考、多種多様な情報を合成する能力、チームワークなどを科学教育の早い段階から教えこまれる必要があるのだ。

化学は、ますます学際的な取り組みをするようになってきている。それらの学際研究は図に示すような様々な形を取りうる。(原理的に下のように分類されるが、実際はそれぞれの違った形態の要素が組み合わせられ、連続的に使われることがある。)

Multi-disciplinary (複数分野共同研究)：課題解決研究の各段階で知見を相互に共有しえる複数の学問分野が、それらの知見や手法を出し合い、共同研究を推進する。

Inter-disciplinary (分野間共同研究)：化学と他の分野の境界を超えた共同作業により、分野間で手法を伝授、共有し、新たな知を創出する。

Trans-disciplinary (超学際研究)：分野間共同研究をさらに推し進め、総体的に新たな学問体系を創出する。分野と分野の重なる領域に価値のある知見を見だし、問題の複雑さと多様性に対処できる。単一分野の研究と超学際研究の差は、分野内の修正的な問題解決と全体的な予防的問題解決の差に匹敵すると言われている。



研究体系の分類

本質的に学際的なアプローチで育まれることが、化学の貢献を効果的にする上で必要だ。また、学際的なアプローチを取り入れることは、将来の学生たちに化学を魅力的なものにする点でも重要だ。

### 倫理的科学

One-world chemistry は、すべての人々に貢献し、人類、動物、環境への害をなくすことに注意を払う。したがってそれは倫理的な科学として実践されるものである。まずは、医師の『Do no harm』(相手を傷つけないという原則)に匹敵するが、One-world chemistry はさらに、結果として、科学の実践と応用において最善を尽くすということを目的とする。倫理的な行動と研究公正は、化学も含め、重大な懸念の対象となってきた。しかし、化学分野における倫理面での推進と実践は、あまり目立たず、より強い施行が必要である。

2015年に化学兵器禁止機関に集まった化学者のグループが(筆者HHも含む)、ハーグ倫理ガイドラインに則って、化学の実施規範に合意した。規範の主な点はOne-world chemistryの原理と一致している。続いて米国化学会はハーグ倫理ガイドラインに則り化学者の倫理コードを創案し、次の一步をふみだした。その間にヨーロッパ化学会議は化学における倫理に関する協議会を作った。

### 化学関連学会の役割

化学関連学会は、国内的、国際的レベルを問わず、長年、当該分野と化学者の関心事の開発と推進にのみ取り組んできた。この変化の激しい世界において、学会は実質的な調整と方向修正が必要である。化学のミッションと目的の意識を新たにすること、内部の細分化と学際的な活動への障害を減らすこと、化学教育、研究、実践におけるシステム思考の浸透、アカデミアと産業における倫理的なアプローチと研究公正の推進、化学の推進・方向付け、多様性と一体性の推進などである。この努力においては、化学を実践するすべての関係者、特に教育者、研究者、化学業界、化学団体が力をあわせ、必要な進化的変革に貢献することが大切である。これを客観的かつ、信頼できる方法で行うために、幾つかの化学会を改革し、権限を強化し優先順位の再設定を行うことになるかもしれない。

### 結論

我々の未来と地球の持続可能な開発を確保するために、化学はもう一度立ち位置を見直す必要がある。One-world chemistry というコンセプトは、化学が、システム思考、学際的なアプローチ、グリーンケミストリーの原理を取り入れ、社会の利益のために倫理的に実践され教育される持続性の科学として再度方向性を見出すフレームワークを提供する。化学団体、特に学会はこの進歩的な変革を育む上で重要な役割を果たすことができる。

- 1) 有本健男, 論説「SDGs-STI プロジェクト Japan の推進」, 化学と工業 2017, 70, 7.
- 2) その他筆者紹介及び参考文献はオリジナル英語版を参照いただきたい。

(翻訳: 辻 篤子・千村博子)

© 2017 The Chemical Society of Japan

ここに載せた論説は、日本化学会の論説委員会が依頼した執筆者によるもので、文責は基本的には執筆者にあります。日本化学会では、この内容が当会にとって重要な意見として掲載するものです。ご意見、ご感想を下記へお寄せ下さい。  
論説委員会 E-mail: ronsetsu@chemistry.or.jp