



公開シンポジウム参加者の中から5名の方に、シンポジウムを聞いての感想や提案などをお聞きました。

「一回性」と「再現性」の狭間と「創発」



井川 善也

IKAWA Yoshiya
九州大学、A03 班

「分子ナノシステムの創発化学」第1回シンポジウムでの講演に触発され「創発化学」について感じた事を、私の研究分野との関わりも含めて雑感的ではあるが書いてみたい。

川合領域代表は、ご講演の中で「P.L. Luisiが化学分野の創発現象の例として、炭素と水素からベンゼンの性質が生ずることを挙げているが、我々化学者の立場からは少しとまどう。」という意味のことを述べられた。当然ながら炭素と水素（または二重結合と単結合）から芳香族性が発現されることは、現代化学の「常識」である。しかし、ケクレ以前の化学者には極めて「創発」的な現象であったであろうことも、容易に想像できる。従って、ある現象が「部分の性質の単純な総和に留まらない性質の出現（創発）」か否かは、現象を観察する側が「単純な総和か（想定内の結果か）否か」を判断する際の知識背景に大きく依存する。その点からみると「単結合と二重結合からの芳香族性の発現」に対応する現象をナノスケールの分子集合体で生み出し（あるいは見だし）、さらにその現象に対しHuckel則に対応する理論基盤を与え「創発」を「常識」化することが（本領域にとどまらない）創発化学の長期目標の一つのかもしれない。藤田先生（東大・工）や相田先生（東大・工）のご講演からは、その実現の可能性を感じた。

カオス等、初期条件等の微細な変化で結果が大きく、また予測不能に変動する系も「創発現象」の重要な要素のようだ。それに関連する吉川先生（京大・理）のご講演の中で「それらの現象の発現にはマイクロメートルの領域が必要であろう」との趣旨のコメントが印象的であった。「カオスやゆらぎ等の現象の発現にはナノメートル領域の複雑度ではなお不十分ではないか」と物理に疎い私は理解した（が自信はない）。君塚先生（九大・工）が展開される「サブマイクロスケール領域での非平衡ナノ分子科学」は、この提起を正面から受け止めた化学サイドの取り組みとして、個人的には発展が非常に楽しみである。

私の研究で用いる手法の一つにRNA進化分子工学がある。RNA進化分子工学実験では、実験者が進化の方向性（淘汰圧）を設定し、10¹⁵程度の異なる配列をもつRNAのライブラリから最も目的に適合した機能を発揮する配列を濃縮、選別する。（選別サイクル中、進化の方向性や淘汰圧を決定する立場として、実験者はちょっとした「神」の気分を味わえる）。

進化分子工学では、「選別過程」の合理的制御は可能であるが、その結果として生き残るRNA配列は予想できず、また用いるRNAの長さによっては同じ実験を繰り返しても同一のRNA配列が得られることが原理的に否定される。実験科学の基本である「結果の再現性」とは一見矛盾する「結果の一回性」の特性は、進化分子工学の原理を考えれば納得できる。

100塩基のRNAの異なる配列の総数は4¹⁰⁰=1.6 × 10⁶⁰となり、実験で準備可能な初期ライブラリの分子数の上限（10¹⁵）をはるかに超える。初期ライブラリに含まれる10¹⁵の配列は、核酸合成機の中で10⁶⁰の可能性から偶然に生み出されるため、100塩基の同一配列が「独立に合成された」2つのRNAライブラリに共に含まれる可能性は事実上ゼロに等しい。つまり「結果の一回性」は、初期ライブラリ中の特定配列の「一回性」に起因する。また「結果の一回性」は初期プールの可能な配列数と実際に取り扱い可能な分子数（10¹⁵）のズレに起因する。従って組み合わせ数が10¹⁵以下となる短いランダム配列（24塩基以下、424 = 2.8 × 10¹⁴）を用いる場合は「結果の再現性」が原理的に要請される。これら進化分子工学がもつ「一回性」や、配列長に依存した「一回性の領域 / 再現性の領域」は、「カオスの創発現象」や、それを生じる「マイクロスケールの領域」と「ナノスケールの（従来の）分子科学の領域」と類比できるかもしれない。本領域研究から、進化分子工学を新しい視点で理解し発展させる鍵が得られるかもしれない。特に「一回性」と「再現性」の二つの領域の境界付近には、偶然と必然を結びつける分子進化の重要な要素が隠されている気がする。

RNA進化分子工学の分野では、タイトルに「創発（emergence）」の単語が使われた論文に時折出会う（例えば1,2）。進化分子工学では、進化実験が順調に進行し意図する機能をもつRNA配列が取得された場合は「selection of ……」あるいは「(directed) evolution of ……」等のタイトルが付けられる。それに対し、選択圧に対し「想定外の方法」で適応するRNA配列が存在し、それが選別を勝ち残る場合がある。その場合「emergence of ……」と題されることが多い。これら想定外のRNA配列は本来意図した機能はもたず、その点では実験は失敗である。しかし「想定外の方法とその能力」が出現し、（それが学術的に充分興味深い場合は）「創発現象」の一種と見なす事ができる。

最後に内容を説明する余裕がなくなってしまったが、研究者の目指した方向に「優れた」創発現象が生じた例としてJ.W. Szostak (2009年ノーベル医学生理学賞受賞。RNA進化分子工学の創始者であり、現在は人工生命研究のフロンランナーでもある)によるプロトセルの研究を挙げておきたい (3)。

- 1) R.R. Breaker, G.F. Joyce, Emergence of a replicating species from an in vitro RNA evolution reaction. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 91 (1994) 6093.
- 2) M.M. Hanczyc, R.L. Dorit, Experimental evolution of complexity: in vitro emergence of intermolecular ribozyme interactions. RNA 4 (1998) 268.
- 3) I.A. Chen, R.W. Roberts, J.W. Szostak, The emergence of competition between model protocells. Science 305 (2004) 1474.