

9. 進化を記述する科学

<多様性の科学>

以上で、私は数、代数、幾何から言語、機械、結晶までのさまざまな理論の基本的な考え方を説明した。ある考え方は、かつて天才といわれた数学者や論理学者や言語学者たちが発見した。そして別の考え方は、私や他の物理学者たちが幸運にも発見したものである。そこから我々は何を学べるのだろうか？私はこれらは本質的に皆同じルーツから来ているものではないかと考える。単純なものから、より複雑なものを生み出す仕組みに関する理論であるということである。

通常我々が考える還元論は、1つのシステム全体をそれより1つミクロな部分に分けて、そのミクロな部分の総和として物事や現象を記述する。例えば、気体や液体はそれを構成する原子や分子の総和として記述する。原子や分子の数が膨大となるとこれすら簡単に解ける多体問題ではない。しかし、基本的にその理論の内部にそれよりミクロな構造もマクロな構造のいずれも想定しない。

一方、数や言語やオートマトンのようなシステムも、気体や液体を構成する原子や分子のように、出発点としてそのシステムを構成するアルファベットが必要である。しかし、そこでは、システムはアルファベットの単なる総和ではない。総和以上の何かがある。言語の世界では、アルファベットが空中を自由に飛び回っているのではない。それでは、我々は何の意味ある情報を得ることもできないだろう。むしろ、アルファベットの文字は自分がどこにあるべきか、そしてどう働くべきか知っているかのように、それ自身全体の構造の中で意味をもつ。また、この世界は複雑なものを複雑に理解しようと非還元論的に得られるものでもない。なぜなら、その複雑性は明確に定められた規則と法則から作り出されるものだからである。

このように、部分は全体のため、全体は部分のためになるような、還元論でも非還元論のいずれでもない新しい視点が必要に見える。私はこういう新しい視点を、進化を記述する科学、あるいは多様性の科学と呼びたい。この意図するものは、読者の皆さんはすでにお分かりのことだと思う。

<シュレディンガーの夢の解決：すべてを統合すること>

この新しい視点にたつて、DNAや蛋白質の電子状態を求める問題、すなわちDNAや蛋白質の持つ非周期的な塩基配列や分子配列を持つ超高分子鎖の中を動き回る電子や格子振動の状態を求めるという、シュレディンガーの夢は、今まで議論してきたようなすべての分野のさまざまなアイデアを統合することにより、実現可能に見えるのである[1]。

仮に、ここに1つのDNAの塩基配列や蛋白質の分子配列があるとしよう。例えば、
TTTAACTTCAGGTTGTTTATTACGAGATATATGG... ,
あるいは

Met-Lys-Ala-Ile-Phe-Val-Leu-Lys-Gly-Trp-Trp-Atg-Thr-Ser-...

のようなものを念頭に置こう。このように、DNAは4つのヌクレオチドの作る文字列、蛋白質は20種のアミノ酸の作る文字列である。そして、これらの電子状態を計算するためには、8. で考えたような転送行列の方法を使うことができる。すると、我々は、

$$D = \text{Tr}(\dots \text{GGTATATAGAGCATTATTTGTTGGACTTCAATTT})$$

や

$$P = \text{Tr}(\dots \text{-Ser-Thr-Atg-Trp-Trp-Gly-Lys-Leu-Val-Phe-Ile-Ala-Lys-Met})$$

を考えればよいということになる。ここで、DNAと蛋白質の文字種は4と20であるので、それぞれ
 $9(= 3 \times 4 - 3)$

個と

 $57(= 3 \times 20 - 3)$

個のトレイスを必要とするのである。つまり、Dは、

$$\{\text{Tr}(A), \text{Tr}(G), \text{Tr}(C), \text{Tr}(T); \text{Tr}(AG), \text{Tr}(AC), \text{Tr}(AT), \text{Tr}(GC), \text{Tr}(GT)\}$$

の9個のトレイスの多項式で得られるのである。同様に、Pは、

$$\{\text{Tr}(\text{Ala}), \text{Tr}(\text{Glu}), \dots, \text{Tr}(\text{His}); \text{Tr}(\text{Ala-Glu}), \text{Tr}(\text{Ala-Met}), \dots, \text{Tr}(\text{Glu-His})\}$$

などの57個のトレイスの多項式で得られる。

例として、上のDNA配列の初めの

... ACTTCAATTT

の部分がどのように、これを行えるか考えて見よう。最初の

TTT

は、ケイリー-ハミルトンの定理--

$$T^2 = \text{Tr}(T) T - I$$

--を使うと、

$$T^3 = \text{Tr}(T) T^2 - T$$

となる。もう一度それを使うと、

$$T^3 = \text{Tr}(T) T^2 - T = \text{Tr}(T)(\text{Tr}(T) T - I) - T = (\text{Tr}(T)^2 - 1)T - \text{Tr}(T)I$$

となる。これに

$$A^2 = \text{Tr}(A)A - I$$

を左からかけると、

$$AATTT = (\text{Tr}(A)A - I)(\text{Tr}(T)^2 - 1)T - \text{Tr}(T)I$$

$$= \text{Tr}(A)(\text{Tr}(T)^2 - 1)AT - (\text{Tr}(T)^2 - 1)T - \text{Tr}(A)\text{Tr}(T)A + \text{Tr}(T)I$$

が得られる。次にCを左からかけると、

$$CAATTT = \text{Tr}(A)(\text{Tr}(T)^2 - 1)CAT - (\text{Tr}(T)^2 - 1)CT - \text{Tr}(A)\text{Tr}(T)CA + \text{Tr}(T)C$$

を得る。以後次々に同様の作業を続けていく。そして最後に、そのトレイスを取ると、1つのトレイスアルファベットの多項式が得られるのである。

こうして、どんな配列が与えられても、これらのトレイスアルファベットを基に、1つの多項式として得られるのである。このトレイスを、

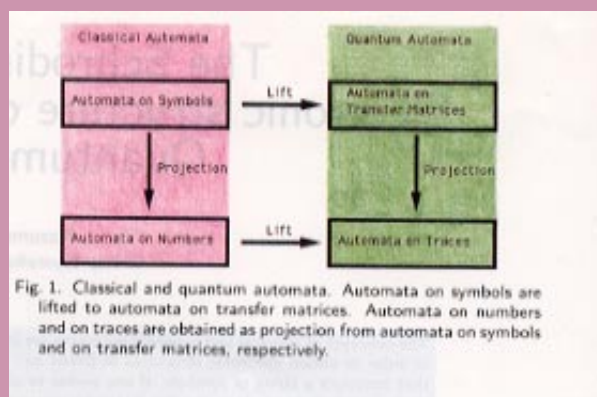
$$-2 < D, P < 2$$

となるように判別すると、DNAや蛋白質中を走る電子のエネルギーが得られるのである。

DNAの複製過程は、自然が作った1つのオートマトンである。同様に、30億年程前から、地球の海の中でDNAが初期の単ヌクレオチドから始まり、徐々により複雑なヌクレオチド配列に進化して来たプロセスも1つのオートマトンであると考えることができる。仮に、そのプロセスが、ニールセン変換やチョムスキー文法やL-システムのような、1つの変換で表わせるとすれば、その変換群の組み合わせとして、さまざまな遺伝子配列を生成できる。そして、一度それが与えられると、それに応じて、トレイスアルファベットの文字生成が定義でき、それを使って電子状態が計算できるのである。これがシュレディンガーの夢を実現することになると私は考えている[1]。

<量子オートマトン，量子チューリング機械，量子コンピュータ，DNAコンピュータ>

1994年、私は文字レベルのオートマトンから対応して得られる、このトレイスレベルでのオートマトンのことを初めて量子オートマトンと呼んだ。なぜなら、通常のオートマトンはアルファベットから文字列を生成するだけであるが、トレイスレベルでのオートマトンは、実際にシステムのスペクトルや物理的安定性などの量子力学的情報を与えてくれるからである[1]。



近年、これと似たアイデアがさまざまな分野に現われてきた。エレクトロニクスの進歩により、計算機の素子も1電子レベルで制御できるところまで来た。そうすると、今までチューリング機械も計算機も古典的に考えていたが、それらをミクロな量子レベルで行えないかと考えるのは自然である。このようにして、考え出されてきたのが、量子チューリング機械であり、量子計算機のアイディアである[2]。少量の電流の中にも、たくさんの電子がある。その電流でコンピュータは動いている。では、1電子レベルでコンピュータを動かせれば、信じられないほど大量の計算ができるのではないかというのである。事実、最近、1テープと1キュービットを持つ量子チューリング機械の問題は、私が考えてきたような1次元準周期格子系の問題とまったく等価であることがベニオフ(P. Benioff)によって証明されたのである[3]。

さらに、DNAの複製過程が自然が作った1つのオートマトンであることに目をつけ、1本の試験管の中で、遺伝子工学技術をフルに使って、現実に実験として人為的にDNAを切ったりつないだりして計算するという、DNAコンピュータの概念も現われている[4]。超超スーパーコンピュータは21世紀中にすら実現するかどうかさえわからないといわれる。そんな巨大なスーパーコンピュータでしか解けないだろうという数学の大問題を、数学が嫌いで生物学に入った人が、1本の試験管の中で解くことができるかもしれないのである。まったく、夢のようにワクワクする楽しそうな世界ではないだろうか？

参考文献

- [1] K. Iguchi, *The Schrodinger's dream: Electronic structure of DNAs and proteins: Quantum automata*, RIKEN Review 6, 49-50 (1994).
 [2] B. Schwarzschild, *Labs Demonstrate Logic Gates for Quantum Computation*, Physics Today, March issue, 22-23 (1996). S. Haroche and J.-M. Raimond, *Quantum Computing: Dream or Nightmare?*, Physics Today, August issue, 51-52 (1996). 西野哲朗, 「量子コンピュータ入門」, (東京電機大学出版, 東京, 1997).
 [3] P. Benioff, *Tight Binding Hamiltonians and Quantum Turing Machines*, Phys. Rev. Lett. 78, 590-593 (1997); *Transmission and spectral aspects of tight-binding Hamiltonians for the counting quantum Turing machine*, Phys. Rev. B 55, 9482-9494 (1997).
 [4] Lila Kari, *DNA Computing: Arrival of Biological Mathematics*, Math. Intelligencer 19, 9 (1997).

[前セクション](#) [次セクション](#) [目次](#)

[ホームページ](#) [和基](#) [和子](#) [維作](#) [条蒔](#) [家族](#) [Donation](#)

「井口和基博士と家族のホームページ」
 〒774-0003 徳島県阿南市畷町新はり70-3
 井口和基 (C)2004