

自己複製する微小システム

長岡技術科学大 松野孝一郎

§1 はじめに

化学進化から前生物学的分子進化に至る過程は機能を伴った形を産み出す一つの物理過程である。そこでの形の特徴は自己複製（複製，復成いずれの意をも含むものとする）にある。現今の生物はワトソン・クリックの塩基対モデルで示されている分子（DNA）レベルでの自己複製，細胞分割増殖に基づく細胞レベルでの自己複製の双方を同時に伴っているが，それらが出現する進化過程でいずれの自己複製が先行したかは形を産み出す物理学にとっての課題となる。

自己複製機構の出現とその維持を担う一つの理論モデルは，環境に依存する無作為乱雑変異と自然選択を二大支柱とすネオ・ダーウィン型モデルである。これは，全くの偶然によって偶々出現した分子自己複製機構がその後も乱雑変異を被験しながら，環境に基づく自然選択の結果現今の自己複製機構を維持するに至った，とする筋書きを提供する。自己複製機構の出現を偶然に依存する限り，分子レベルでの自己複製の方が細胞（前駆体）レベルでの自己複製に比してより生起し易い。細胞前駆体レベルでは分子レベルに比してより多数の分子間での幸運な符号が求められているからである。

しかし，ウィグナー¹⁾に従うならば，量子力学に従う物質系において変化が無作為乱雑変異を介して生起する限り（即ち，ハミルトニアンが対称である限り），自己複製体が発生する確率は零となる。『物質系での相互作用があらかじめ自己複製を可能とする様に特別に詭えられていない限り，全系の状態数に比しては僅少であるが，自己複製する量子状態が実現され，かつ，それに必要となる資源を提供する状態を想起することは途方もなく困難である。……ワトソン・クリックモデルは確かに巧妙な，事実にも則したモデルでありながら，[無作為乱雑変異から]自己複製を可能とする運動方程式を見い出すのは困難なはずである。しかし，現実には，この全く起り得そうもない離れ業が生起してしまっている』（文献1, pp.206-208）。起り得そうもない離れ業が原因となってそれ以後の進化過程が可能となったのを『凍りついた偶然の出来事』²⁾と見なすか『悪い冗談』³⁾と見なすかはモデルの前提となった無作為乱雑変異をどの様に眺めるかに依存する。

もう一つのモデルは変異を無作為乱雑変異ではなく，既に何等かの制約が課された制約付き変異とするモデルである。如何なる物理機構がこの制約を課しているかは兎も角として，この

モデルは実験事実からの支持を受けている。各種のアミノ酸を熱重合させて出来たプロティノイドでのアミノ酸配列は無作為乱雑配列ではなく、乱雑さが著しく低減した自己配列を伴うことが既に確認されている。^{4, 5)} アミノ酸の自己配列傾向は個々のアミノ酸間の立体化学効果に依存している。無作為に生成された乱雑配列から何等かの規準に従って選択された結果ではなく、配列の生成過程そのものが既に制約を受けている。対象は限られているが、アミノ酸自己配列は確かに無作為乱雑変異ではなく制約付き変異の生成事例を与えている。

制約付き変異に基づくモデルを支持するもう一つの実験事実プロティノイド懸濁液から相分離して生成される細胞前駆体、プロティノイドマイクロスフィアが分子レベルでの自己複製を伴うことなく細胞前駆体レベルでの自己複製を遂行するという事実⁶⁾である。分子レベルでの自己複製を非生物学的に実現しようとする試みは未だ成功していない。無作為乱雑変異と自然選択に基づくネオ・ダーウィンモデルでは符合の容易さから分子レベルでの自己複製がより生起し易いが、事実による支持は未だ受けていない。一方、細胞前駆体の自己複製を可能としているのは制約付き変異の方であるが、これを正当なものとするためには制約付き変異の生成機構を明らかにしなければならない。

§ 2 質量作用の法則とその限界

分子レベルであれ、細胞前駆体レベルであれ、自己複製体の出現、維持を化学反応速度論の立場から眺めるならば、反応担体での自己複製速度係数、あるいは、選択係数が主要な役割を占める。持続する自己複製体はその自己複製速度係数を常に正の値に保っている。自己複製体の出現は自己複製速度係数値の負から正への転換に対応する。

ネオ・ダーウィンモデルでは、自己複製速度係数を定めるのは外部環境に基づく偶然事象でしかない。しかし、無作為乱雑な偶然事象のみに基づいて自己複製速度係数が負から正值に転換することは論理的には可能でありながら、その生起確率は零である。更に、ネオ・ダーウィンモデルを固守する限り反応担体での反応速度係数を定めるのは外部環境であり、それに基づく反応速度係数の変化は系内を瞬時の内に伝播することになる。反応速度係数の決定がそこでの反応とは無関係に為されるという質量作用の法則がこのネオ・ダーウィンモデルの背後に横たわっている。ここで二つの問題が発生する。一つは、質量作用の法則を援用する限り系内での相互作用の変化の伝播速度は無有限大とならざるを得ないが、伝播速度が無有限大となる現象は物理現象として許容され得ない、という問題である。他は、相互作用の変化の伝播速度が有限に留まるのを認めるならば、個々の反応担体はその近傍にある反応担体と互いに作用、反作用を及ぼしつつ自らの反応速度係数を自律的に定めて行き、外部環境のみが唯一の作用原因とな

るのを停止する，という問題である。

質量作用の法則を伴うネオ・ダーウィンモデルは作用原因としての無作為乱雑変異と自然選択のいずれをも外部環境に求めているが，この枠組みに従う限り，自己複製体の出現は想定するのが困難となる位の幸運に恵まれなければならない。質量作用の法則を越える代替案では反応担体がそれぞれ近傍にある他の反応担体に変異を課す作用原因となり得る。この時発生する変異がネオ・ダーウィンモデルにおけるのと同様に無作為乱雑なのか，あるいは，何等かの制約が付加された変異なのかが先ず明らかにされなければならない。

§ 3 制約付き変異とその発生機構

自己複製体の出現を結果において可能とするかも知れない反応担体はそれ自体で既に物質集積体である。物質集積体は流入物質流と流出物質流の間に維持されている。安定な原子，分子はそれ自体で安定な物質集積体であり，流入，出物質流は零である。一方，プロティノイドマイクロソフィア⁷⁾に示されている様に，流入，出物質流が零とはならない物質集積体も実現されている。零とはならない流入，出物質流によって維持されている物質集積体はそれ自体が既に一つの物質流の形態である。物質流の空間密度が他所に比して著しく高くなっている所が物質集積体として観測され，それ自体は集積体内物質流として維持されている。

集積体内物質流は流入，出物質流とそれぞれ均衡を保っている。観測される限り，この均衡は常に確認されなければならない。さもなければ，物質流の連続が否定されてしまう。相互作用の変化の伝播が有限速度で為されつつ物質流の均衡，連続が結果において成立している。⁸⁾ この運動機構を明らかにするために，仮に，流入物質流を定める相互作用が何等かの原因によって変化し，このままでは流入物質流と集積体内物質流との均衡が破れると仮定してみる。均衡を復帰させるためには集積体内物質流が変化しなければならない。この変化は有限時間後に集積体内物質流と流出物質流との間に不均衡をもたらす。誘起される不均衡を除去するためには，流出物質流を定める相互作用が物質集積体とその外界との間で変化しなければならない。ここでの相互作用変化はその反作用を介して再び流入物質流に変化を誘起する。この様に相互作用を改変するサイクルが際限なく継続する。相互作用変化の伝播速度が，質量作用の法則における様に，無限大であるならば，相互作用は常に物質流の均衡が維持されるべく定められている。物質流の不均衡除去という作用が全系において同時に為されるため，不均衡除去のための継時過程が発生する余地はない。それに反し，全ての物理過程がそうである様に相互作用の変化の伝播速度が有限であることを認めるならば，不均衡除去は常に継時過程として際限なく系内を伝播する。相互作用変化の伝播速度が有限となるならば，確かに，自己複製する細胞前

駆体の物理モデル⁹⁾が構築可能となる。

物質集積体がそこでの物質流の均衡を維持するために為す相互作用変化は内生変化、内生変異である。しかもこの内生変異は無作為乱雑変異であるのではなく、物質流の均衡を維持する変異のみが実現されるという制約付き変異である。

§ 4 おわりに

自己複製体の出現と進化を無作為乱雑変異と自然選択に依存するネオ・ダーウィンモデルでは、自己複製体の出現そのものが極めて困難となる。しかし、自己複製する細胞前駆体としてのプロティノイドマイクロスフィアは実験によって繰返し検証されている。これを支持する一つの理論モデルは相互作用変化の伝播速度が有限であることに基づいて制約付き変異を産み出し可能とするモデルである。

自己複製体は制約付き変異を産み出す機構を内在させている。出現した自己複製体は自らがそれ以後の形と機能を産み出す担体となっている。しかし、外界から観測される限りでの自己複製体が伴うインフォメーションには制約付き変異を産み出す機構そのものは含まれていない。観測されるのはその機構によって産み出された結果のみである。それ故、時間の経過と共に産み出される結果はそれ以前に比して、より選択を受けており、よりインフォメーション容量の多い対象と化して行く。ポリペプチド中のアミノ酸残基が伴うインフォメーション容量は、前生物学的進化段階で出現したプロティノイドに比して現今の蛋白質の方がより多くなっていることが既に確認されている。^{4, 5)} これは物質系に潜在していたインフォメーションが顕在化して行く過程^{10, 11, 12)}を証する観測事実となっている。物質系が伴うインフォメーションに関して外界からの動因を考慮しない限り、全系のインフォメーション容量は増えも減りもしないが、観測可能なのは制約付き変異を産み出す機構によって産み出された対象のみである。このことは、時間の経過と共に、自己複製する形が伴うインフォメーション容量が観測される限りにおいて増大することを導く。

参考文献

- 1) E. P. Wigner, *Symmetries and Reflections* (MIT Press, Cambridge, Mass., 1970) Ch. 15.
- 2) F. H. C. Crick, *J. Mol. Biol.* **38** (1968), 367.
- 3) E. J. Chaisson, *Harvard Mag.* **80**(2) (1977) 29.
- 4) T. Nakashima, J. R. Jungck, S. W. Fox, E. Lederer and B. C. Das, *Int. J. Quantum Chem. QBS4* (1977), 65.

- 5) J. Hartmann, M. Christel Brand and K. Dose, *BioSystems* **14** (1981), 141.
- 6) S. W. Fox, R. C. McCauley and A. Wood, *Comp. Biochem. Physiol.* **20** (1967), 773; S. W. Fox and K. Dose, *Molecular Evolution and the Origin of Life* (Marcel Dekker, New York, 1977).
- 7) S. W. Fox, *Naturwissenschaften* **67** (1980), 378.
- 8) K. Matsuno, *BioSystems* **13** (1981), 237.
- 9) K. Matsuno, *BioSystem* **14** (1981), 163.
- 10) S. W. Fox, *Int. J. Quantum Chem*, **QBS8** (1981) 印刷中
- 11) K. Matsuno, *Origins Life* **10** (1980), 361.
- 12) K. Matsuno, *BioSystems* **15** (No. 1) (1982) 印刷中

転位のある結晶のリーマン幾何学

静岡大・教養 北 原 和 夫

§ 1 序

結晶中にトポロジカルな乱れが存在するとき、物性はどのように影響されるか、という問題は、最近のアモルファス物質の研究の上で重要になっていると思われる。トポロジカルな乱れの最も単純なものは転位による乱れである(図1)。規則的な結晶では原子の位置(格子点)は3個の整数を指定すると決まり、そのうちの1個が ± 1 だけ変化すると隣の格子点をあらわすことになる。しかしながら転位が存在すると格子点の番号付けが一意的にならない。2つの格子点の相対的位置を3個の整数で表わそうとすると、転位線のまわりをどのようににまわりながら格子点を数えてゆくかによって、相対的位置をあらわす整数は違ってくる。規則的な格子における素励起の伝播が

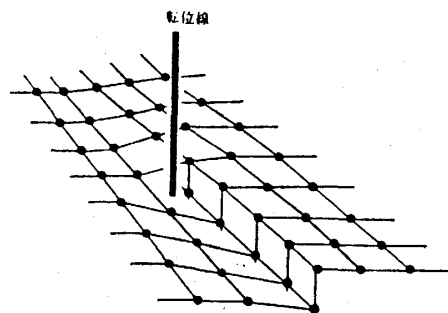


図1 らせん転位

$$H = T \sum_{\langle \vec{n}, \vec{m} \rangle} |\vec{n}\rangle \langle \vec{m}| \quad (1)$$