

3.2 「生命の起原」 解明に向けて

湯川哲之

yukawa@koryuw02.soken.ac.jp

教育研究交流センター

3.2.1 まえがき

人は誰でもおのれの出自を知りたがる。自分の両親のルーツを皮切りに日本人、東洋人、ホモサピエンス、原人ととどんどん時代をさかのぼり原始生物にまでくれば、最後はもっとも神秘に満ちた生命の起原に突き当たる。もろもろの「始まり」シナリオの中で生命の始まりこそ不思議に満ちたものはない。スーパーストリングが時空を作り、ビッグバンが宇宙を作り、超新星が星を作り太陽系が作られようと、それらはすべて量子力学を原理とする物理法則で記述されているとわれわれ物理学者は信じている。始まり中の始まりであるスーパーストリングはまだ十分に理解されているとは思わないが、ビッグバン以降の星の誕生や太陽系の形成に対するわれわれの理解は天体物理学者の理論シミュレーションの結果から判断して、それが完全とは言えなくとも大筋で正しいように見える。さらに地球の形成とその科学的理解も現代物理学で十分になされつつある。そう考えればこの太陽系の地球上に生命が出現したのも同じ物理法則によることを疑う理由の一つもない。

にもかかわらず生命の起原は物理学の法則で理解されうるとの考えにすんなりと納得しがたいのはなぜだろうか。人間に限らずわれわれが日常出会うどの生物を見てもそこに「生命の意思」を感じる。耳うるさいハエをたたき殺そうとしても、なかなかすばしっこく我々をいらだたせる。それが生きようとする意志である。山や川に自然の意志を感じるという人もいようが、路傍の石を打ち砕くときにその意志を感じる人はいないだろう。この違いは何によるのだろうか。そもそもどこでこの違いが始まったのか。それを現代科学の手法で解き明かそうというのが生命の起原の研究である。

21世紀は生物学の世紀だという生物学者は多いが、生物の始まりを研究しようとする生物学者は少ない。圧倒的な生命の神秘を目の当たりにして悠長にその起原を探究するひまなど生物学者にはないようである。そこで自他ともに認める還元論者である素粒子物理学者の出番であると、私は年甲斐もなく生命の起原研究に手を出すことになった。しかも理論家としてではなく実験家としてである。

3.2.2 一体何からはじめようか？

生命の起原の実験をするという誰でも最初に思い浮かべるのは1953年のミラーの実験であろう。この実験は我々を構成しているたんぱく質の要素であるアミノ酸が自然界の物理現象の結果として合成されることが期待できることを示した。その後、予想される様々な原始大気の組成を持つ気体を使い、放電や紫外線・放射線の照射や、さらに熱水海中や宇宙空間など原始地球に考えられる多様な環境を模した実験を通して多種のアミノ酸とともに核酸についても合成されることがわかってきた。

しかし、これらの実験がすぐに生命の起原を解き明かすかというところでもない。今まで行われた実験には水の存在が重要な役目を果たしてきた。一方、生体高分子はアミノ酸や核酸の脱水反応により合成されるため、重合反応が起こったとしても同時に加水分解も進行し、幸運な場合でもたかだか10個程度のアミノ酸の結合したポリペプチドが作れただけにすぎず、最小の蛋白でも100ないし200のアミノ酸の結合が必要であることからすると自然的に蛋白が合成される確率は非常に小さい。

DNAやRNAの要素であるヌクレオチドから出発するシナリオにいたってはさらに悲観的である。核酸塩基が自然界で合成されたとしてもリボースは簡単には合成されない。デオキシリボースにいたっては自然界では合成されないと思われる。RNAは酵素機能も持つという発見に触発されたRNAワールド仮説が一時生命の起原を解き明かす鍵であるとされていたが、自然界で手に入れにくい材料がどうしてもはじめに選ばれたのかは理解しがたい。RNAワールドが生命の進化の一時期に存在したとしても、それに導いたのは豊富に存在したアミノ酸を原料とした蛋白質ワールドであると考えたほうが自然でなかろうか。

とはいえ、20種類のアミノ酸を様々な環境で反応させてみたところで意味のあるたんぱく質が出来てくる確率はきわめて小さい。地球が生まれてから、生命の痕跡が認められると言われている化石生物が出現するまでの、生命の発生準備期間は最短でも5億年に及ぶと予想されている。

そのような長い時間をかけて作られた原始生命を、試験管の中で作れると考えるのは無謀である。

そのうえ我々は地球の初期条件すらよくわかっていない。そこで、生命起原の研究は勢ひひらめきや勘に頼って予想した初期条件や環境のもとで実験を進めることになりがちだが、その結果がどう出たとしてもそれが本当に地球上の生命の起原と関係するかどうかを断定することは出来ない。

3.2.3 先ずは答えからはじめよう

生命の起原を論じるときいつも繰り返される問いに生命とは何かという問題がある。ほんやりと生命とは何かを知っているつもりでも改めて考えてみると簡単に答えられるものではない。誰でも一言で答えられないことは確かであるが、といて複数の条件をあげだすとその必要十分に自信が持てない。我々のグループのメンバーである飯田によりあげられた60あまりの条件をひとつの目安として生命がどれほどの確率でこの地球上に現れたかを考えてみることも出来るが、60あまりの条件全てを5億年の時間内に獲得する確率は、各事象がすべて独立に起こると仮定したもっとも単純な仮定のもとでは個々の条件を獲得する確率の積で与えられる。たとえ各過程が何の困難もなく起こるとしても1より小さい数(たとえば0.9)を60も掛けるとゼロに近いものとなることは容易に予想できる。生命はこの地球上でたまたま一度だけ起こった奇跡であるという説は根強く存在する。

この論理を回避するひとつの手立てとして考えられる仮定は、将来生命となるべき物質が進化過程で獲得した重要性質として自己増殖の機能を何度か取り込むことであろう。いったんそのような機能を獲得すると、確率は単純な積とはならず各過程での密度分布を考える必要があり、計算はより複雑なものにはなるが、少なくとも確率の大幅な増大が見込まれる。しかし、そのような自己複製機能を持つ中間体の構造も決して単純なものではなく、そこに至る過程すらそう簡単に起こるものではないであろう。やはり原料から自然的に構成しようというまじめな実験ではいつ実現できるかわからない。始めから進むのではだめなら終わりから後戻りするのはどうだろうか。

コロンプスの卵や因数分解のように答えから逆に問題を眺めれば簡単に理解できる問題は多い。現存するたんぱくを少しずつ分解していくとどこかで自己複製する中間過程のたんぱく質に行き当たらないだろうか。そのようなたんぱくは寿命が長いから分解生成物の分布に特徴的な痕跡を残すに違いない。答えからはじめよう、そう考えたわけである。しかし、当然だがこの話はいくつかの希望的観測で積み上げられている。たんぱくの構造はDNAの塩基配列が決めているのである。DNAの助けを借りずどうしてたんぱくが遺伝的機能を持ち得るのか。それに、現存するたんぱくはそれぞれ固有の機能を持っているが、自己触媒の機能があるたんぱくを見たものはいない。たとえあったとしてもそのような機能は、それよりも優れた機能を持つDNAやRNAが現れたずっと昔に失われてしまったに違いない。

3.2.4 太公望を夢見て

RNAが先かたんぱくが先かの議論は現段階で決着がつく問題とは思えないが、我々の立場は、たんぱくが先である。初めにも述べたように、たんぱくを構成するアミノ酸は原料が豊富な上に生成が容易である。たんぱくが自己複製機能を獲得した段階で核酸と反応して複合系を作り、その核酸がたんぱくの酵素作用のおかげで結合してRNAとなり、情報伝達の正確性から立場が逆転して自己複製するたんぱくの鋳型となったと考えられないだろうか。そうだとするとRNAポリメラーゼやtRNA合成酵素にそのような性質が保存されている可能性があるのではなからうか。生命は約40億年かけて進化し、人間のような高等動物を作った。高等化にこれほど長い期間を要したからといって人間の形態形成は原始動物とまったく違うかといえば決してそうではない。遺伝子はどんどん大きくなったかもしれないが、それは進化の過程で新しく付け加えられて長くなったからであり古い構造が新しい構造にとって変わったわけではなさそうである。たんぱくを見ても特徴ある酵素機能を実現するために数万にも及ぶアミノ酸が必要だったのか疑わしいものも多い。非常に大きいたんぱくは機能的に必要なからではなく過去の歴史が書きとどめられている、もしくは消し忘れているからではなからうか。

それではRNAポリメラーゼを熱や光など適当な方法で分解したとしよう。分解の末に見えてくるものは、自己複製機能を持つたんぱくかといえば、そう期待するのは甘いだろう。当然予想されることはごみと区別しがたいようなえたいの知れないものか、ごく単純なものを見出すのがせいぜいであり、その中からうまく求めるものをとり出すことは困難であろう。しかし、もし自己複製系が少しでもあればうまく反応系を作ることにより複製機能を持つものが選択されどんどん増加することが期待できる。我々のグループのメンバーである光澤のコンピュータ・シミュレーションはそれが可能なことを示している。自己増殖の結果として出来上がり、進化を通して複雑化したたんぱくを分解し、断片となったポリペプチドを脱水反応により再結合しまた分解し、この作業を巡回させるうちに自己増殖機能を持つ原始たんぱくが選択的に構成され増殖するだろう。

これは太公望が大魚を夢見て釣り糸をたらず、そんな気分である。しかし、いくら楽道家といえどもつり道具や釣りえさも使わず大魚を釣ろうとするものはいない。我々はつり道具である反応装置に様々な工夫をこらし、また釣りえさの原料に生命の起原の答えであるたんぱく質を使う。あとは大魚がかかるのを待つだけである。これが私の西暦2000年を迎えた新年の夢である。

3.2.5 おわりに

この実験は総研大グループ研究「新分野の開拓」小グループ「生命の起原」の何度かの研究会での議論を通して計画されてきた。議論に加わってくれた小グループ・メンバーの方々に感謝したい。実験は、2000年3月より高エネルギー加速器研究機構の化学実験室を借りて始まる。実験グループのメンバーは現在、光澤(名古屋大・地物)、飯田(NEC・中研)、山口(工技院・物質研)、楠見(工技院・物質研)と湯川(総研大・交流セ)の5名である。