

進化論の自律性：還元をめぐる問題

森元 良太（慶応義塾大学）

科学において還元は様々な場面で試みられてきた。熱力学から統計力学への還元やメンデル遺伝学から分子遺伝学への還元などがその事例として挙げられる。また、E. シュレディンガー(1944)は分子生物学が量子力学へ還元できることを示唆した。最近では生物学の哲学者の間で、進化論が物理理論へ還元できるかについて活発な議論が展開されている。そこでは、進化論を還元する物理理論として、一方がニュートン力学を、他方が量子力学を主張している。前者の立場によると、進化論で扱われる対象を巨視的な生物個体とし、巨視的对象はニュートン力学に従うとする。他方後者は、進化の最も基礎的な対象を微視的な DNA の突然変異とし、微視的对象は量子力学で扱われる領域とする。シュレディンガーは後者の立場に近いと考えられる。このように、両陣営は進化論を還元する理論について対極的立場に立つ。そこで本発表では、進化論が基礎的な物理理論に還元できるかという問題を批判的に検討し、これら物理理論と進化論との関係について粗視化あるいは情報という新たな視点から考察する。これにより進化論独自の特徴を明らかにする。

上述の対立は還元する理論が異なることに起因している。ところが、両陣営とも進化論が物理理論に還元できるという点で共通しており、いずれも還元主義の立場である。では、進化論は物理理論に還元できるのだろうか。ここで注意すべき点は、ニュートン力学と量子力学はいずれも多くの粒子も扱うが、一つの粒子を基礎として扱うということである。つまり、両陣営の主張は、進化論が一つの対象を基礎として扱うことを含意している。しかしながら、進化論は一つの対象を基礎とするのではなく、生物集団を基礎とする理論である。進化が生じるには、生物集団内の個体間に有利・不利の差がなければならない。このように、生物が進化するには集団の存在を前提としており、進化論は集団の変化を表わす理論なのである。この方法論を E. マイヤー(1959)は「集団的思考 population thinking」と名付けた。マイヤーがこの方法論を強調したのは、アリストテレス以来広く受け入れられた、生物種(species)に関する本質主義的考えに反対する文脈であるが、これは還元の文脈にも適用することができるであろう。というのも、ニュートン力学や量子力学では一つの対象自体に位置や運動量などの物理量があるのに対し、進化論では一つの対象のみに注目してもそれ自体に量はなく、複数の対象を私たちが比較することにより適応度などの量が相対的に与えられるからである。したがって、進化論は一つの対象ではなく集団を基礎的な対象とするので、進化論をニュートン力学や量子力学に還元することはできない。

ニュートン力学や量子力学への還元を不可能とする論拠は他にもある。進化論は適応度

という概念を用いて、生物集団の変化を説明する。適応度とは有利さの度合いを表わしており、この適応度は複数の異なる物理的性質により実現可能な付随的性質である。例えば、フィンチの硬い嘴とミミズの眼点が同じ 0.75 という適応度を持つことができる。この場合、適応度が 0.75 であることから、嘴の硬さや眼点の反応性は一意に決まらない。このことは、物理的性質から適応度は決まるが、適応度からそれを実現可能にする物理的性質が一意に決まらないことを意味している。フィンチの嘴とミミズの眼点は物理的に異なるので、それらの振る舞いを物理理論で説明しようとするとは非常に異なったものとなる。すなわち、進化論はニュートン力学や量子力学に還元できないのである。ところが進化論では、それらの形質が物理的に異なっても、複数の物理的性質に実現可能な適応度を用いることにより、共通部分の一つの枠組みで説明することができる。これは基礎的な物理理論とは異なる、進化論の特徴の一つである。

では、進化論と基礎的な物理理論との関係はどのように理解したらよいのであろうか。以下では、進化論を統計力学と比較することにより、この関係について考察する。まずは統計力学と進化論の共通点を明らかにしよう。統計力学は温度やエントロピーという、複数の粒子の性質により実現可能な付随的性質の変化を表わす理論であり、粒子集団（アンサンブル）を基礎としている。統計力学は付随的性質により集団変化を説明するという点で、進化論と共通している。温度やエントロピーは粒子集団の性質であり、単一の粒子に備わる性質ではない。温度は各粒子が持つエネルギーの平均により決まり、エントロピーは各粒子の空間配置により決まる。ところが、温度から各粒子のエネルギーを一意的に決めることも、エントロピーから各粒子の空間配置を一意的に決めることもできない。このことは粒子集団の諸性質が複数の異なる粒子の性質により実現可能であることを表わしている。したがって、統計力学と進化論はともに、集団レベルの複数実現可能な付随的性質を扱う理論である。これが統計力学と進化論が共通に持つ特徴である。

次に、統計力学での議論を参考に、進化論と基礎的な物理理論との関係を明らかにする。L. ボルツマンは時間対称的なニュートン力学と時間非対称的な統計力学との関係に苦悩した。これに対し、個々の粒子の性質から統計力学的性質への実現可能性を明らかにすることにより、これらの関係について一つの解答が提示できる。W. ギブスのアンサンブルによるアプローチはその具体例として考えることができる。アンサンブルとは、ある範囲内にパラメータの値を含む同種の微視的状態の集合である。例えば、キャノニカル・アンサンブル (canonical ensemble) とは系のエネルギーが E と $E + \delta E$ の間にある微視的状態の集合であり、この概念によると、その範囲内のエネルギーをもつ粒子はすべて同値類となる。このアンサンブル概念の導入により、統計力学に個々の粒子の詳細は不要であることの根拠が与えられたとされる。つまり、個々の粒子の性質がすべて、統計力学的な性質へ実現されるというわけではないのである。その例として、個々の粒子の振る舞いが時間対称的であるという性質は統計力学的性質へ実現されないことを挙げるができる。このよう

に、粒子の詳細を無視し、ある範囲内の粒子を同値類とみなす操作を「粗視化 coarse graining」と呼ぶ。この粗視化の操作は、進化モデルでも適応度を定める際に行われていると考えることができる。進化モデルでは、生物集団の各個体が共有する形質や遺伝子に同じ適応度が与えられる。この場合、集団内の各個体はそれ以外の様々な形質や遺伝子に違いがあるにもかかわらず、それらについての詳細な情報を敢えて無視し、必要な情報のみから集団内の諸個体を同値類とみなしている。このように、基盤的性質から温度や適応度などの付随的性質への実現関係は粗視化という操作により理解することができる。すなわち、統計力学や進化論のモデルでは、基盤的性質の一部が付随的性質へ実現されるが、すべての基盤的性質が付随的性質に実現されるわけではないのである。

このような粗視化という操作は情報理論の観点から捉えることができる。E. ジェインズはギブスの哲学を明示的に実践したが、彼は個々の粒子の不要な情報を無視するというアンサンブル・アプローチが情報理論の枠組みで理解できることを示した。アンサンブル・アプローチでは粗視化により情報の取捨選択をおこなうが、このことは統計力学に必要な情報は完全な情報ではなく、部分的情報であることを意味している。進化モデルでも粗視化の操作が行われているので、同様のことを進化モデルに当てはめることが可能であろう。すなわち、進化モデルは部分的情報を扱うものとして理解することができるのである。部分的情報を扱う理論に情報理論があり、情報理論では手持ちの情報に応じて最適な推論を行う。ジェインズは情報理論から従来の統計力学を数学的に導出した。彼は最大エントロピー原理と呼ばれる情報理論の手法により、温度やエネルギーなどの観察可能な量だけから粒子集団の確率分布を求めたのである。この手法は数学ではラグランジュ未定乗数法と呼ばれる最適化法の一つである。実は、これと同じ手法により従来の進化モデルも導出できる。そして、進化モデルでは私たちの目的や関心に応じて考慮する情報を変えることができ、考慮する情報にモデルが対応しているのである(Morimoto and Nishiwaki)。このように、統計力学と進化論のモデルは情報理論の観点から理解することができる。そして、情報理論で最大エントロピー原理を用いるということは、情報エントロピーを最大にすることであり、つまりこのことは部分的情報を最大限に活用することを意味している。したがって、情報理論の観点によると、統計力学や進化論のモデルでは、集団に共通する部分的情報を抽出し、関連のない物理的性質についての情報を無視することが理解できる。これはまさに粗視化である。また、情報理論の観点では、目的や関心に応じて粗視化の程度が調整され、その程度に応じてモデルが存在することも理解できる。このように、統計力学と進化論では、個々の粒子の持つ物理的性質とそれに付随する性質との間の実現関係を具体的に理解することができるのである。そして、これらのモデルでは、このような実現関係を実際に利用することにより、基盤的性質へ還元できない性質を用いた説明が可能となるのである。

参考文献

- Brandon, Robert and Scott Carson (1996) “The In deterministic Character of Evolutionary Theory: No ‘No Hidden Variable Proof’ but No Room for Determinism Either”, *Philosophy of Science* **63**: 315-337.
- Crow, J. F. and Kimura, M. (1970) *An Introduction to Population Genetics Theory*.
- Fisher, R. A. (1930) *The Genetical Theory of Natural Selection*, 2nd ed., Dover.
- Graves, Leslie, Barbara L. Horan, and Alex Rosenberg (1999) “Is Indeterminism the Source of the Statistical Character of Evolutionary Theory”, *Philosophy of Science* **66**: 140-157.
- Guttman, Y. M. (1999) *The Concept of Probability in Statistical Physics*. Cambridge University Press.
- Jaynes, E. T. (1957) “Information Theory and Statistical Mechanics”, *Physical Review*, **106**: 620-630.
- Mayr, E. (1959) “Typological versus Population Thinking”, in *Evolution and the Diversity of Life*, Harvard University Press, 1976.
- Morimoto, Ryota and Yosaku Nishiwaki (2006), “Probabilistic Reasoning in Evolutionary Theory”, *Reasoning and Cognition Interdisciplinary Conference Series on Reasoning Studies*: **2**, 181-185.
- Rosenberg, A. (1994): *Instrumental Biology, or The Disunity of Science*, The University of Chicago Press.
- Schrödinger, E. (1944) *What is Life?*, Cambridge University Press. (岡・鎮目訳『生命とは何か』岩波書店、1951年)
- Shannon, C. E. (1948) “A Mathematical Theory of Communication”, *Bell System Technical Journal*: **27**, 379-423.
- Sober, E. (1984) *The Nature of Selection*, The MIT Press.
- (1993) *Philosophy of biology*, Oxford University Press.