

報告番号	甲 乙 第	号	氏 名	森元 良太
主 論 文 題 名： 情報理論的観点からみた進化論—進化論における確率概念の哲学的意義—				
(内容の要旨) 本稿は、進化論における確率概念について情報理論という新しい観点から分析をおこない、その哲学的意義を考察したものである。 現代の進化論では、「適応度」という概念が生物進化を表すのに重要な役割を担う。適応度とは、生物がどれだけ長く生存し、どれだけ多くの子孫を産むかを定量的に表したものであり、確率的に定義される。生物進化を数学的に表すには確率概念が欠かせない。では、この確率概念は進化現象を正しく表しているのだろうか。もしそうであれば、現実の世界に不確定的な要素があることを意味しているようにみえる。つまり、進化は非決定論的な現象かもしれないということになる。あるいはそうではなく、世界はほんとうのところ決定論的であるかもしれない。そうであれば、確率概念は現象をありのままに表現していないことになる。本稿では、進化論における確率概念が何を表しているのかについて検討した。 第1章では、本稿で取り上げる問題の背景を明らかにした。確率は数学的に公理化され、さまざまな分野で利用されている。だが、確率概念が何を表すのか、どういう意味なのかという解釈を問題にすると、数学のように計算をして答えが出るようなものではなくなる。確率概念の意味を理解し、より明晰な別の概念で置き換えるためには、哲学的な議論が必要である。 世界が決定論的であるかどうかは古代ギリシアの時代から議論されてきた。近代以降、ニュートン力学の成功により、決定論的世界観はより具体的に表現されるようになる。ニュートン力学は、あらゆる物体が確定的に運動することを示している。手に持っているボールをはなすとしよう。そのボールは手からはなれた後、空中に静止するかもしれないし、真上に飛んでいくかもしれない。手からはなれた後のボールの軌道は、論理的には無限の可能性がある。だが実際には、真下に落ちるというただ一つの軌道しか描かない。そして、ニュートン力学を用いると、手からはなれた瞬間のボールの状態がわかれば、落下するただ一つの軌道を正確に計算することができる。天文学者で数学者のピエール・ラプラスは、あらゆる物体の運動がニュートン力学によって確定的に記述できることから、世界は決定論的であると主張した。その後、彼のつくった決定論的世界観				

は広まることになる。

ラプラスによると、世界には不確定な要素は一切なく、すべての物体は決定論的に運動している。したがって、もし完全な知識を持つ全知全能者がいるとすると、その存在者は世界を記述するのに確率といった不確定的な概念を必要としない。それに対し、私たち人間は完全な知識を持っていない。それゆえ、確率概念が必要になるのである。ラプラスはこのように、決定論的な世界観にもとづき、確率を私たち人間の無知の表明として解釈した。この全知全能者は「ラプラスの魔物」として知られている。

しかしながら、決定論的世界観は量子力学の誕生により大きく揺らぐことになる。量子力学では、肉眼で直接みることのできない小さな対象が扱われる。たとえば、一個の電子を壁に向けて発射し、その電子が壁のどの位置にあたるのかを予測するとしよう。量子力学では、電子のあたる位置を計算によって確定的に求めることができない。できるのは、確率的な予測だけである。このことは、発射される電子やその周囲の環境の状態についての完全な知識があるとしても変わらない。量子力学の誕生以降、量子力学における確率概念の解釈をめぐり多くの議論が繰り広げられてきた。量子力学の標準的な解釈によると、この確率概念は実在の世界についての性質を表しており、微視的な世界は非決定論的であるとされる。それに対し、世界はほんとうのところ決定論的であり、量子力学における確率概念は世界の実在を表してないと主張する者もいる。アインシュタインはその一人である。このように、確率をどう解釈するかによって、世界に対する理解は大きく変わる。したがって、世界を正確に理解したいのであれば、確率概念の正しい解釈が必要なのである。

生物学に目を向けると、進化の数理モデルには確率概念が用いられている。進化論における確率概念は何を表しているのだろうか。現代進化論の祖チャールズ・ダーウィンは、確率概念そのものについてではないが、「生存して子孫を残すチャンス」という表現を用いる。この表現は、現代の進化論では適応度を使って表される。適応度は、上述したように、生存と繁殖の能力を確率的に表したものである。ここに確率概念がかかわってくる。進化論に確率概念が用いられるのは、世界が非決定論的であるからだろうか。それとも、私たちに十分な知識がないからだろうか。あるいは、別の理由によるものだろうか。これが本稿で解き明かしたい問題である。

第2章と第3章では、この問題に対する代表的な解決策を紹介した。この問題に対し、これまで大きく二分する解答が提案されてきた。一つは、ニュートン力学に依拠した議論である。それによると、進化現象は決定論的であり、進化論における確率概念は私たち人間の無知を表している。これは先のラプラス的な世界観に類似している。もう一つは、量子力学に依拠した議論である。この陣営は、微視的な量子現象が進化という巨視

的な現象にまで影響を及ぼすと考える。そして、量子現象が非決定論的であれば、その影響を受ける進化現象も非決定論的であり、進化論における確率概念はそうした非決定論的な現象をありのまま表していると主張する。ニュートン力学的観点を採用する陣営の議論は第2章で、量子力学的観点に依拠した議論は第3章で解説した。

第4章では、両陣営の議論を批判的に検討した。二つの陣営は相反する解答を提示しているが、両陣営の議論には共通点がある。すなわち、どちらの陣営も、進化論が一つひとつの対象を基礎とした理論であり、進化現象は突き詰めると物理学の基礎理論で説明できることを想定している。両陣営の議論はどちらもこの二つの想定に依拠したものである。私はこの二つの想定を批判することで、両陣営の論証の土台を掘り崩すことを試みた。

まず、進化論が「集団的思考」を採用していることから、進化論が一つひとつの対象を基礎とした理論ではないことを示した。集団的思考は、フランシス・ゴールトンが誤差論を生物集団の変異の説明に援用することで、進化論の説明の枠組みとして採用されたものである。誤差論は、測定誤差による観察結果のばらつきを数学的に処理するための理論である。誤差論では観察結果のばらつきは真の値からの誤差とみなされるのだが、ゴールトンは誤差論の考え方をひっくり返し、集団自体の特徴を表す理論として捉える。生物の特徴を測定した結果のばらつきは、測定誤差によるものではなく、遺伝要因による変異と環境要因による変異を足し合わせた結果を表していると解釈しなおしたのである。この説明では、集団の変化を自律的に説明するために確率分布が用いられる。ところで、進化論が集団的思考を採用しているのは、基礎的な物理理論と異なる種類の現象を表すためである。ニュートン力学や量子力学という基礎的な物理理論は、物体の「運動」を描くための理論である。このような理論では、物体の運動が最も基本的な変化であるとされている。だが、生物は無生物とは異なる特徴を備えている。たとえば、生物の形質は次の世代に遺伝するのに対し、石や机のような物体は遺伝しない。生物は世代交代を繰り返しながら変化していくが、そのとき、遺伝子や個体が取捨選択される。この取捨選択、あるいは「抽出」を表す理論が進化論である。進化というのは、集団の中から遺伝子や個体抽出される現象である。抽出がおこなわれるには一つの対象ではなく、集団が存在しなければならない。こうしたことから、進化現象は物理学の基礎理論だけでは表せないことを示した。

次に、ローゼンバークたちやブランドンたちのもう一つの想定について批判的に検討した。もう一つの想定とは、進化現象は突き詰めると物理学の基礎理論で説明できるというものである。ラプラスの魔物のように物理学に関して完全な知識を持つ存在者は、

配偶子や個体の運動を完璧に記述することができるので、遺伝的浮動の概念は不要であるかのように思われた。だが、物理学だけの知識では、配偶子が次世代に受け継がれ、形質が遺伝することを説明できない。こうした現象を説明するには、物理学とは異なる種類の知識が必要になる。同義コドンやがらくた DNA の存在が確認されたことはその一例であり、これらは物理学的には異なるが生物学的には同じ対象が存在すること示している。遺伝的浮動はそうした対象に作用するのである。このように、進化論はニュートン力学や量子力学といった物理学の基礎理論とは異なる種類の現象を表すことを示し、両陣営の論証に批判を加えた。

第5章では、科学的説明の本性をめぐる科学哲学の議論を踏まえ、進化論の説明の特徴を明らかにした。科学的説明は問いの文脈に依存し、問いの文脈は質問者の意図や目的に応じて変わる。進化現象のある側面を物理学的に説明することはできるだろう。しかし、進化現象のすべてを物理学で説明することはできない。同じ現象を説明するのに複数の説明戦略が存在するからである。何世代にもわたる生物進化を知りたいときは、より多くの事例をまとめて扱う包括的な説明戦略を採用し、特定の生物個体の微細な物理的変化を明らかにしたいときは、現実性の高い説明戦略を採用する。異なる説明戦略の間にはトレード・オフがあり、目的や意図に合わせて説明を使い分けることになる。科学的説明の特徴を踏まえると、多様で複雑な生命現象を解き明かすためには多角的な観点からの説明が必要であることを指摘した。

次に、進化論はどのように現象を説明しているのかを分析した。それにより、進化論の説明では、統計力学で用いられる「粗視化」と同じ操作が関与していることを明らかにした。粗視化とは、考慮する情報を減らす操作で、多くの対象をまとめて取り扱うには有効な手法である。もし仮に生物についての完全な情報があっても、進化論の説明ではその一部しか使用されず、ほとんどの情報は捨象される。進化論では多様な個体のさまざまな性質を粗視化することによって、共通の形質を持つ個体の集まりを一つの生物集団として扱うことができる。それにより、集団レベルの現象を包括的に説明する。物理学の理論を使って還元的に現象を説明することも重要ではあるが、進化論では複数の対象を包括的に説明することも目標とされている。このような進化論の説明の重要な特徴を明らかにした。

第6章では、情報理論という新しい観点から進化論における確率概念の哲学的意義について考察した。情報を扱う理論に情報理論があるが、情報理論は部分情報を合理的に活用する方法を提供してくれる。その一つが「最大エントロピー原理」であり、この手法を用いると手持ちの情報を最大限に利用して確率分布を推論することができる。最大

エントロピー原理は統計物理学者のエドワード・ジェインズが考案したものであり、彼はこの手法を用いて従来の統計力学モデルを導出することに成功した。ジェインズは物理学者のおこなう推論も物理学の一部だと考えていた。私は、最大エントロピー原理を用いると進化論のモデルも導出できることを示した。また、多様な生物についての莫大な情報のなかの一部だけあれば十分であることを明らかにした。その一部の情報とは、集団の大きさや、集団内で特定の遺伝子を持つ個体数など、生物集団に関するものである。これらは、実在の生物のある側面に関する情報である。また、その一方で、生物学者の意図や目的に合わせて考慮する情報が変わり、それに応じて導出される進化モデルも変わるという意味で、進化論は認識論的な側面も含んでいる。進化論のモデルを綿密に分析することで、進化論のモデルには実在論的な要素と認識論的な要素の両方が混在していることを明らかにした。

また、進化論のモデルが最大エントロピー原理から導出できるということより、進化論のモデルが手持ちの部分情報を最大限に活用した結果として導き出されることも明らかにした。進化論のモデルはこの意味で合理的なモデルということができる。情報理論的観点からみると、進化論のモデルの目的が実在の完全な記述ではなく、説明や予測であることが理解できる。だからといって、進化論のモデルが不完全というわけではない。進化論のモデルでは、敢えて詳細な情報を無視することで、生物集団の変化の説明や予測が可能となるのである。進化論の目的は実在を完全に記述することではなく、手持ちの部分情報にもとづいて集団レベルの現象を予測したり説明したりすることである。

さらに、遺伝的浮動モデルが最適な情報処理規則にしたがうと導き出せることも明らかにした。最適な情報処理規則とは、入力情報と出力情報の差を極力減らすという情報処理規則であり、この規則を用いるとベイズの定理も導き出せる。一方、出力情報が入力情報よりも少なくなったり関係のない情報が加えられたりすると、遺伝的浮動モデルは導出できない。遺伝的浮動モデルでは、与えられた情報に応じて合理的に信念更新することで、次世代の遺伝子頻度が予測できるのである。このことは自然選択モデルも同様である。すなわち、進化論における確率概念はベイズ主義的に解釈できるのである。ベイズ主義的解釈は、与えられた情報に応じて確率が変化するという意味で主観的な解釈である。だがそれは、ローゼンバーグたちのような無知解釈とは異なる。ローゼンバーグたちは全知全能者と人間を対照させ、人間の不十分な知識という消極的な面を強調した。それに対し、私の提案する解釈では、ローゼンバーグたちと同じ主観的解釈ではあるが、手持ちの情報を最大限に利用しているという進化論の合理的な側面を示すことができる。

第7章では、本稿でおこなった議論を簡潔にまとめた。進化論では、生物学者の目的や関心に応じて異なる確率モデルが構築される。そのとき、生物学者の手持ちの情報が最大限に活用され、また情報に合わせて合理的に信念更新がおこなわれる。進化論における確率概念は、手持ちの部分情報を最適に処理した結果を反映しており、ベイズ主義的に解釈される。情報理論的観点から進化論を考察することにより、従来の議論では捉えることのできなかつた進化論の重要な特徴を明らかにした。