

Title	進化論の認識化, 情報化とそれを阻むもの
Sub Title	Interpreting evolutionary theory informationally, and the factors impeding it
Author	西脇, 与作(Nishiwaki, Yosaku)
Publisher	三田哲學會
Publication year	2015
Jtitle	哲學 No.134 (2015. 3) ,p.3- 31
JaLC DOI	
Abstract	Intervening in the events of the world, we take their information out of the world, and by processing it we finally know what it is. This information processing is the common basic scheme itself everywhere we are aware of things or events. If we look back over the brief history of the synthetic theory of evolution with the scheme, we can realize that the theory has very different characteristics from Newtonian mechanics. First of all, the theory has many different 'forces' of causing evolution and some force is not consistent with others. This means the theory should be inconsistent. This seemingly serious trouble is recovered by thinking epistemologically things as information. Then each force, for example natural selection or random genetic drift, has different informational framework and so they cannot be compared directly. This kind of philosophical interpretation has been required reluctantly since the great success of Newtonian mechanics, because the classical mechanics has been interpreted realistically. This informational interpretation might imply the bad relativism. If each theory or force has its own intervening way and the following particular kind of information, inconsistency of forces disappears, but we must admit that the synthetic theory of evolution is not the unified theory, but only the collection of theories.
Notes	特集：西脇与作君・樽井正義君退職記念 寄稿論文
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00150430-00000134-0003

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

進化論の認識化, 情報化とそれを阻むもの

— 西 脇 与 作* —

Interpreting Evolutionary Theory Informationally, and the Factors Impeding It

Yosaku Nishiwaki

Intervening in the events of the world, we take their information out of the world, and by processing it we finally know what it is. This information processing is the common basic scheme itself everywhere we are aware of things or events. If we look back over the brief history of the synthetic theory of evolution with the scheme, we can realize that the theory has very different characteristics from Newtonian mechanics. First of all, the theory has many different 'forces' of causing evolution and some force is not consistent with others. This means the theory should be inconsistent. This seemingly serious trouble is recovered by thinking epistemologically things as information. Then each force, for example natural selection or random genetic drift, has different informational framework and so they cannot be compared directly. This kind of philosophical interpretation has been required reluctantly since the great success of Newtonian mechanics, because the classical mechanics has been interpreted realistically. This informational interpretation might imply the bad relativism. If each theory or force has its own intervening way and the following particular kind of information, inconsistency of forces disappears, but we must admit that the synthetic theory of evolution is not the unified theory, but only the collection of theories.

Key words: Intervening, being aware of, information, the synthetic theory, force, the neutral theory of evolution, the theory of natural selection

* 慶應義塾大学名誉教授

1 はじめに：介入¹と認識という観点からの総合説の歴史²

経験の情報化、認識化を遂行すると、どのように視界が開けるのか。量子力学が観測や測定抜きに実在を語れないことを明らかにして以来、同じことが他の領域でも成り立つかどうか問われてきた。その問いを進化論に振り向けてみよう。

世界に介入して私（たち）の「決める」ことを自然化すると、その結果は「決まる」世界として表現される。「決まる」世界を私（たち）が情報化すると、それは「決める」意識として言語化、数学化される³。

1.1 気づきとセンサー

生物は何かに気づき、情報処理し、反応する。気づきの幾つかは自動化され、センサーで置き換えられ、気づかなくても同じ反応ができる。だが、「経験は感じることに始まり、そこから知識や行為が生まれる」と経験主義は主張してきた。私たちは何かを感じ、気づき、それが何かを知り、わかる。そして、それらが記憶され、気づきのコツや知識のツボが学習され習慣となっていく。感じ、気づき、それが何かがわかると的確に反応できる、そうでなければ誤った反応をしてしまう、それが生物の経験主義的な行動だと考えられてきた。

対象、出来事、状態に気づくことは、それを情報化することであり、その入力情報の情報処理の結果として、それが何かを知ることになる（気づき＝情報化）。気づかない、意識しないなら、それは見えない、聞こえないことであり、知ることができず、何が起きているか把握できない。下図は気づきがある場合とない場合の情報処理の図式で、情報と知識の違いが見て取れる。

情報→**気づき**→情報処理→知識
(原因) (結果)

情報→情報処理→情報

(原因) (結果)⁴

気づくことは知識を生む。気づかなければ情報のままで、知識にならない。気づくことで正誤、成功失敗、勝敗等の二分化が生まれる。介入としての気づきの役割がここにある。

「世界の一部が情報として気づかれ、知識になる」というのが上図の趣旨だが、気づかれない情報は莫大で、そのほんの僅かが気づかれ、知識となる。介入の典型例が知覚経験で、対象や現象を見たり聞いたりして気づくことによって私たちは気づいたものが何かを知る。つまり、気づきは知識の出発点となる⁵。介入の一種としての気づきは気づくという出来事であり、瞬間的、偶然的、挿入的である。気づくのは知覚経験がほとんどだが、時には知識に、そして記憶や予想に気づくこともある。

情報が気づかれ、意識され、その処理が（脳レベルの大半は気づかれない仕方、しかし言語表現や論理的推論は意識的な仕方）で行われ、その情報を知ることになる。それが私たちの情報処理（判断）過程である。判断の結果は当然わかるが、その判断の脳科学的な過程は気づかれず、わからない。気づかれることのない情報は情報のままに止まり、意識されことなく自動的に処理されるか、そのまま取り残されるかである。情報と気づきは二つの異なる事柄だが、情報に気づくことによって知られることになる。

気づき、知ることの素晴らしさは知覚が好奇心や快楽と密接に結びついていることにある。つまり、

気づかないと欲求（意志、感情）もない、

という訳である。すると、気づかれずに情報処理がなされると、欲求、意

志、感情も生じない、ということになる。これがロボット（あるいはゾンビ）の情報処理である。一步進んで、欲求、思考、信念、感情、意志がない状態とは気づかない状態、無意識の状態のことだと考えたくなる。何かに感じることはその何かを知るためのきっかけとなるが、感じる、気づくことのないセンサーは知ることがない。センサーは私たちの感じや気づきを前提として、情報の感知を自動化したもので、私たち自身の身体にもこのようなセンサーが適応として数多く存在する。気づかなくても気づいた場合と同じように反応するようにつくられたのがセンサーである。何に感じるかがわかっているなら、センサーは安定的な装置として有用である。センサーもコンピュータも、私たちが気づき知っているものについては、その知識を使ってそれ等自身は気づかなくても私たちが気づく場合と同じことを実行することができる。

サールの中国語の部屋の翻訳者は何をしているのか（Searle, 1980）？ サールは翻訳者が意味をわからず、何をしているかわからないと主張するが、彼は何をしているのか。規則に従う動作をしていても、その人は自分が何をしているか知らない。だから、彼は気づいたり、意識したりしない。それは既述の図式の気づきのない情報処理である。それが私にわかる彼のしていることである。同じ入力の下で、気づきがある場合とない場合で結果に違いがなければ、「気づく」ことは何の役割をもっているのかわからない。違いは結果にだけあるのではなく、情報処理がスタートするかどうかにある。気づきのない情報処理はいつスタートするかがわからない。気づくことで情報処理がスタートするのであれば、気づきは情報処理スタートのセンサーになっていて、気づかないゾンビは一つセンサーを欠いているか、スタート自体が自動化されているかということになる。

気づき有利さをもつなら、それは進化的な適応になり得る⁶。それができないロボットやゾンビは自らの能力を自分で知り、それを活用することができないということになる。気づかないロボットが気づく場合と同じ

ことができるかどうかは、ひとえに私たちが気づきのプログラムをつくり、自動化できるかにかかっている。ゾンビなら、問題解決に気づきや知識を駆使しないやり方を自然選択の結果として獲得するのを待つしかない。

1.2 基本図式

1.1 に登場した図式が様々な異なる領域に適用され、世界や心の変化を理解する共通図式として汎用されてきたことを再確認しておこう。



その具体例の一部を下の表に列挙する。

A	原因	前提	刺激	初期状態	対象のデータ
B	自然法則	論理法則	情報処理	運動法則	理論
C	結果	結論	反応	終期状態	対象の説明

理論とは **B** に対応する情報処理の一般構造である。その理論に対象やデータとその解釈を加えたものがモデルである。モデルはデータと情報処理システムから対象を説明し、対象は情報化される。意味論的なモデルとして科学理論を考えるならば、その理論は世界を情報として捉える。理論をモデル論的に解釈することは理論が情報を扱うことを顕わに示している。さらに、モデルにおける確率・統計の使用は情報の本性が因果的ではないことを示唆している。統計力学、情報理論、集団遺伝学等は情報をその直接の対象にしている。

基本図式の一般構造はなぜこれほど普遍的なのか。「見て、これは何かと訝り、その答えを見つける」という図式は私たちの生活が情報に彩られ支配されていることを物語っているのではないか。

1.3 メンデル、ダーウィン、そして集団遺伝学

ダーウィンは人為選択をヒントに自然選択に気づいたが、遺伝の原理を知らなかった (Darwin, 1859)。メンデルはエンドウマメの栽培実験で遺伝の法則を発見し、論文「植物雑種の研究」を発表するも、誰も注目しなかった (Mendel, 1866)。1900年にメンデルの法則が再発見されると、自然選択説とメンデル遺伝学が両立するかどうかが問題となり、二つの関係は不明のまま時だけが過ぎた。メンデルの法則は遺伝因子のもつ情報の組み合わせ的な数学的法則である。

フィッシャーは遺伝と選択の法則を集団遺伝学としてまとめ上げた (Fisher, 1930)。1930年代には生物集団の遺伝的構成が自然選択によってどのように変化するか的基础が作られた。集団遺伝学で最も基本となる量は生物集団中の遺伝子頻度 (gene frequency) で、その遺伝子頻度が自然選択によってどのように変化するかが研究された。集団遺伝学の創始者フィッシャー、ホールデンおよびライトはいずれも数学に秀でていた。フィッシャーが自然選択万能の考えをもっていたのに対し、ライトは偶然的な要因が重要と考え、2人の間に激しい論争が展開された (Provine, 1986)。偶然的要因とは、次代に子供を残す際、有限の個体が偶然に (大数の法則が成り立たない仕方) で取り出され、それにとまって遺伝子頻度が変化する過程 (= 遺伝的浮動, random genetic drift) である。フィッシャーは、自然の生物集団は十分に大きいので、このような偶然による変化は無視できると主張、一方ライトは生物の集団は地域的に分断されていて、各地域内での偶然による変化が遺伝子の組み合わせを生み出す上で重要であると考えた (平衡推移仮説, Shifting balance theory)。

1.4 総合説の誕生

集団遺伝学を中核にして、実際の進化データをそれにつき合わせて進化のシナリオを描き、様々な分野の進化現象を集め、まとめたものが総合説

である。自然選択に加えて倍数化、雑種形成なども進化の原動力として視野に入れ、さらに自然選択説とは異なる中立説なども取り込んだ総合説が現代進化論の主流となっている。近年では生態学や発生学（進化発生学）の知見なども取り入れ、より大きな枠組みとなっている。

「総合説」という呼称はハクスリーが提唱し、1930年以降、フィッシャー、ホールデン、ライト、ドブジャンスキーといった集団生物学者が自然選択説と遺伝学の統合を示し、さらにマイヤー、フォードなどの生態学者、古生物学者シンプソン、植物学者ステビンズ、そのほか細胞学や分類学などの生物諸分野の研究者たちが、集団遺伝学に新たな広範な洞察を加え、現在の総合説ができあがる。

2 総合説の問題

2.1 複数の力、要因

進化を引き起こす要因は「力」であり、複数の異なる力が進化を引き起こすと想定されている（Sober, 1984）。それら力が働かず、慣性の法則が成り立つ場合に対応して、（遺伝子が表現する）ある形質に関して、集団が下の条件を満たすとき、その集団はハーディー・ワインバーグ均衡（Hardy-Weinberg equilibrium）にあると言われる⁷。

- 1 集団のサイズは無限である（通常は極めて大きな集団と仮定される）。
- 2 突然変異はない（経験的にはあり得ない）。
- 3 集団間に移住はない（集団は全く孤立している）。
- 4 交配は任意である（正確には、集団のメンバーはすべて交配する、すべての個体は同数の子孫を生む、がさらに必要となる）。
- 5 自然選択はない（異なる遺伝子型は同じ適応度をもつ）。

これらの条件が満たされると、進化は起こらない、つまり遺伝子プール

の頻度は不変のままである。だが、これら5つの条件が満たされることは自然の中ではあり得ない。したがって、実際の生物世界では進化は必然的な結果ということになる。

集団がハーディー-ワインバーク均衡にあると、進化は起こらない⁸。ハーディー-ワインバーク均衡にあると、遺伝子頻度、遺伝子型頻度は世代間で変化しない。均衡状態にあれば何の遺伝的变化もなく、したがって、進化は起こらない。では、進化が起こるには何が必要なのか。5つの条件のどれかが満たされなければ、進化が起こる。正確に言えば、進化が起これば、5つの条件のいずれかが満たされていない。だから、どの条件が満たされていないか経験的に探る必要がある。

進化の要因は5つの条件の否定から得られる。1 遺伝的浮動、2 遺伝子流動（移住）、3 突然変異、4 任意でない交配、5 自然選択の独立した要因である。これら要因の中で自然選択と遺伝的浮動に注目しよう。

正常な型から外れたものが異常なものとして選択され、捨て去られるという考え（正常モデル）はアリストテレスが既に指摘していて、この場合選択は異常なものの除去に働く。選択のこの消極的な働きを積極的な働きに変えたのがダーウィンの変異モデルで、彼は正常、異常の区別を単に程度の違いと考え、それらを変異（variation）という概念でまとめ、選択の働く前提条件の一つとした。

集団遺伝学では選択によって遺伝子型頻度がどのように変わるかのモデルがつくられた。例えば、ヘテロ接合体が最も高い適応度を持たない限り、選択は最も有利な遺伝子を固定する。一般に、最も高い適応度の遺伝子型が固定される⁹。選択モデルだけで確実に説明できる事実は意外に少なく、それは自然選択を説明する際の困難さを物語っている。

集団内の個体の形質の適応度に遺伝可能な違いがあれば自然選択が働く。有機体の適応度は生存と生殖の能力であり、それは確率を使って表現される。適応度は確率によって表現されるので、自然選択による進化にお

いて偶然が役割を演じるように見える。しかし、偶然が役割を演じるなら、選択はランダムな過程ということになる。選択の過程がランダムなら、異なる可能性が同じ確率をもつはずである。だが、異なる可能性が異なる確率をもつなら、その過程はランダムではなくなる。自然選択は異なる確率を含み、そのためランダムな過程ではない¹⁰。これが常識的な見解である。確率は豆袋遺伝学 (beanbag genetics)¹¹ の結果だけの表現に使用されるか、頻度を表現する便宜的な形式に過ぎなく、ランダムなことを示すものではない。ランダムという概念は中立説（後出）の場合に問題になる。集団の対立遺伝子は適応度が同じであっても、遺伝的浮動によって遺伝子頻度は変化する。

進化論では「ランダム」という語が突然変異の過程を述べるのに使われるが、それはこれまで述べてきた意味とは異なっている。突然変異が有機体の役に立つゆえに生じるのではないという意味でランダムという語が使われている。「ランダムな突然変異」は異なる変異体が等確率であることを意味していない。

次は遺伝的浮動である。4の任意交配が成立している集団では、新しい世代の遺伝子は親の世代の遺伝子プールからのランダムサンプリング（任意抽出＝任意交配）である。同じ適応度の対立遺伝子の頻度は遺伝的浮動によってランダムに変化する。ある座位にある二つの対立遺伝子が同じ適応度をもつなら、ランダムサンプリングが集団の頻度変化を起こす。ハーディー-ワインバーク均衡は小集団では成立していない。浮動の効果で変異の可能性が狭まり、均衡が維持できないからである。

小集団において、次世代を生み出す配偶子のランダムサンプリングは遺伝子の頻度を変化させる。遺伝的浮動は集団のサイズが小さい程遺伝子頻度のより大きな変化を引き起こす。小さな集団が新しいコロニーをつくると、それは元の集団の遺伝子頻度を反映していない可能性がある。小集団で突然変異がないなら、一つの対立遺伝子が一つの座位に最終的に固定さ

れることになる。つまり、集団は最終的に同型になる。

異なる介入と気づきが異なる情報を取り出し、古典力学のパラダイムの中で確率モデルが進化の結果を表現するものとして使われてきた。だが、「選択はランダムでない」、「浮動がランダムである」、「突然変異がランダムである」といった表現が使われ、総合とは言えない様相を呈してきた。

2.2 中立説を巡って

1960年代に入ると遺伝子からつくられるタンパク質のアミノ酸配列を種間で比較できるようになる。1965年にズッカーカンドルとポーリングはヘモグロビン α とチトクロームcの進化について分子進化研究の方向を定める報告をし、二つのタンパク質のアミノ酸配列の比較から分子時計の存在について述べた。木村資生はライトの影響を受け、偶然の要因について数学的解析を行い、集団遺伝学の理論で分子レベルのデータの意味を明かにすることを考えていた。木村はズッカーカンドルとポーリングのタンパク質のアミノ酸置換の速度からゲノム全体で1年当たりどの位の遺伝子置換があるか推定した。その結果、遺伝的荷重の理論から推定されるよりもはるかに多数の置換が「中立的に」起こっているという結果が出た。それを述べた*Nature*の論文で「中立説」が提唱され、木村は分子レベルでは中立的な突然変異が偶然に集団の中に広がった結果がほとんどであると主張した (Kimura, 1968)。

分子進化の特徴は分子時計にある。アミノ酸の置換がほとんど一定の率で蓄積する、つまり表現型の濃淡ある進化とは違っていたことは衝撃的だった。ヘモグロビン α のアミノ酸配列を各種生物で比べると、進化が早い種でも、生きた化石のような種でもほとんど同じように変化している。そこから、分子時計は自然選択では説明できず、中立説を支持すると考えられた。また、生物集団のタンパク多型について電気泳動法を用いた数多くの測定が行われ、多型の適応上の意味、つまり自然選択の働きについて

種々検討された。だが、タンパクレベルのデータからは、自然選択説対中立説の論争に決着はつかなかった。

1970 年始めから有害と中立の中間クラスのアミノ酸置換が検討されてきた。これは「ほぼ中立」説と呼ばれる (Ohta, 1973)¹²。完全中立な突然変異が遺伝子を置き換えていく速度は突然変異率に等しく、他の要因とは無関係である。しかし、ほぼ中立なクラスでは、集団の大きさが重要な要因としてかかわってくる。一般に有利な突然変異は稀で、多くは有害だが、集団が大きいとそれだけ選択が有効に働いて変異は集団から除かれることが多い。集団が小さいと、中立なものの割合がふえて、置換速度が高まる。中立説は自然淘汰の影響を受けない完全な中立突然変異に主題を置き、進化速度は集団サイズとは相関がなく、中立突然変異率に等しくなると主張した。一方、ほぼ中立説は集団サイズと分子進化速度の相関を予想している。遺伝的浮動は弱有害突然変異を集団中に固定する力であるが、大きい集団では遺伝的浮動の効果は弱い。ゆえに、大きい集団は小さい集団よりもゆっくり進化が進む。弱有害遺伝子は浮動と選択の両方に影響されるので、集団規模が大きいと淘汰の影響が強くなり、小さいと浮動の影響が強くなる。世代の長い生物は集団規模が小さいので分子時計が世代の影響をあまり受けないことを説明でき、大きな集団では弱有害遺伝子は選択されてしまうために頻度が増えないで多型の度合いが小さな範囲に収まると説明できる。したがって、ほぼ中立説では、進化速度と集団の大きさとの間には負の相関が期待される。そして、偶然と自然選択との間には相互作用があるということが見えてくる。

1990 年代には遺伝子そのものの配列を比較研究できるようになり、介入の仕方の解像力が増し、アミノ酸に変化を起こさない同義置換とアミノ酸が変化する非同義置換の比較ができるようになる。非同義置換は同義置換に比べて効果が大きいと考えられ、遺伝子 DNA の塩基配列を比較すると、同義置換の方が非同義置換より速く進化していることがわかってきた。同義置換は中立で置換が早く起こっているが、非同義置換は有害効果

をもつものがあり進化が遅くなる。同義置換と非同義置換のパターンについて研究が進み、簡単な中立モデルには合わない事実が幾つもわかってきた。哺乳類の遺伝子データの比較解析からは、同義置換率は非同義置換率に比べ世代依存性が強く、突然変異率を直接反映していることもわかってきた。同義置換は非同義置換に比べ選択の効果が弱い^が、両者とも偶然と自然選択との両方が働いているとすれば、これらのことは説明できる。遺伝子レベルの進化では偶然と選択は切り離せないのである。

遺伝子の進化には偶然と選択がともに重要だが、両者の関係を明らかにするのは簡単ではない。表現型レベルの進化と分子レベルの進化の様々な関係を経験的に明らかにする必要がある。

3 問題の所在

3.1 モデルと情報

科学理論は形式的な理論というよりモデルである、というモデル論的な解釈は進化論にこそ上手く当てはまる (van Fraassen, 1980)。モデルやシミュレーションは介入による情報化の一般的な表現と捉えることができる。理論は独立した形式系であっても、モデルは世界と相対的にしか定義できず、気づきによる介入の科学的な表現であり、進化論はそのような情報のモデルとなっている。

遺伝情報に代表されるように、進化するのは物質ではなく情報である。生物とは情報をもったもので、情報を使うのも個体や集団である。情報は本来プラグマティックなもので、情報によって生物は生存できる。情報を主役と見れば、ドーキンス流の見方が成り立つ (Dawkins, 2006)。つまり、情報を実現するために物体や出来事、状態が存在し、それらは情報を保持、伝達するための乗り物である。

情報≪DNA≪遺伝子≪生物個体：情報がDNAによって、DNAが遺伝

子によって、遺伝子が生物個体によって運ばれ、使われ、情報が生き残っていく。

情報は生物個体や集団によって実現され、個別化される。私たちが世界に介入し、情報として取り出し、それを処理して知識を手に入れる際の肝心のものが情報で、それはこれまで確率概念によって表現されてきた。

3.2 量子力学と古典物理学における実在性の違い

電子のスピンや光子の偏光の量子状態は測定前には未確定で、測定によって量子状態が確定し実在となる。測定値は任意の値をとることができる、その確率は波動関数の絶対値の2乗に比例する。「測定に依存する物理量の実在性」という概念は、量子力学特有のもので、古典物理学では測定前の粒子の位置は未知でも、粒子は特定の位置にある。アインシュタインが生涯固執したこの主張は、量子力学では認められない。量子力学には次の2種類の「実在性」がある。

(粒子の検出前) 粒子は情報的に実在している(情報として気づくことができる)

(粒子の検出後) 粒子は物質的に実在している(情報が物質として知られる)

この区別は気づきや情報に関して最初に述べたことに一致している。システムにとって特定の対象が「実在」するかしらないかは理論だけでは決まらず、状況に依存している¹³。非物質的な対象について「実在」という言葉を使う場合は制限がついている。これを無視すると混乱や誤解が起きる。情報は、人間だけのものではなく、測定器、ロボットにも実在する。情報の実在を認めないと測定器やコンピュータの現象は理解できない。物質の物理量の実在と情報の実在では実在の意味が違う。物体の質量は物体

がもつが、形や色の情報は物体だけでなく介入する人間を必要とする。質量の測定値という情報は、測定器がなければ実在せず、システム依存的である。物理学者は「実在」を物質的な実在という狭い意味で使うが、量子力学はこのような狭い実在概念では理解できず、情報的な実在という概念が不可欠である¹⁴。

測定器が単なる物理的なものなら、測定という介入の結果である測定値という概念は意味を失う。すると、測定による検証を不可欠とする物理学自体も意味を失ってしまう。測定器は物理的知識で説明できても、測定器が測定値を生み出すことを物理法則のみで説明することはできない。

3.3 情報の非付随性

情報は物理的な出来事に付随するのか？情報は物理的な出来事に付随しても、背後の物理的な変化とは別のものである。気づきの介入は何かに付随せず、物理主義を否定するように見える。

有機体の物理的な性質とそれが棲む環境がわかれば、その有機体がどのような適応度をもつか決定される。しかし、有機体のもつ適応度がわかっても、その物理的な性質や環境は決定されない。環境の中での有機体の性質とその環境での適応度の間のこの非対称的な関係が、適応度が物理的な性質に付随することを意味している。適応度が付随的であることをより正確に表現すれば次のようになる。二つの有機体が物理的に同一で、しかも同一の環境に住んでいるなら、それらは同じ適応度をもたなければならない。しかし、二つの有機体が同じ適応度をもっているとしても、それらとその環境が同一であるとは限らない。付随性を一般的に定義すると、「性質の集合 P が別の性質の集合 Q に付随するとは、 Q の性質が P の性質が何であるかを決定するが、その逆は成立しないことである」となる。したがって、 P が Q に付随するなら、 P から Q への 1 対多の対応関係がある¹⁵。適応度が物理的な性質に付随するという事実は一般的なテーゼ、「すべて

の生物的な性質は物理的な性質に付随する」を示唆している。これが付随性の一般的な説明であるが、介入や情報はこの説明を逸脱しているように思われる。

遺伝子レベルで中立説が主張していることは交配をサンプリングと見た場合に、それがバイアスのないもので、遺伝的浮動によって集団の進化が起きていることを主張している。遺伝子レベルに付随するのがマクロな表現型レベルの現象であり、付随性のテーゼによれば、表現型レベルの事柄はそれより下の遺伝子レベルの事柄によって説明される、あるいは上のレベルのものは下のレベルのものに還元できる。それゆえ、選択という「バイアスのあるサンプリング」はバイアスのない浮動に還元できることになる。つまり、バイアスはバイアスのないものの組み合わせで説明できることになる。バイアスをバイアスのないものによって説明することはできるのか？有利、不利という概念を使わずにバイアスの説明ができるのか？答えがイエスなら、浮動によって選択が説明できることになってしまう。だが、非対称的なものを対称的なものによって説明することができないように、バイアスのないものを使ってバイアスを説明することはできない。

3.4 古典的な決定論

20世紀初頭までに醸成された古典物理学の世界像はどんなものだったのか。まず空間。物理空間には上下左右のような特別の方向は存在しない。これが**等方性**で、区別ができるのはそこに物があって、それに対する位置関係に区別があるからである。また、空間に特別な場所はない。これが物理空間の**一様性**である。「AとBを区別する理由がなければ、AとBは同じように成立する」ということは、「**対称性**によってAとBは等しい」と表現できる。つまり、対称性によって空間のあらゆる方向と位置は同等である。その結果、空間は無限に広いことになる。なぜなら、端があることは一様性の考えに反するからである。次は時間だが、時間について

も同じ様に考えることができる。格段の理由がないなら、時間の流れは一樣である。

このような世界観が成立する背景には、数学の発達と結びついたニュートン力学への絶対的な信頼があり、その「器」として一番分かりやすく簡単な時間、空間の見方が普及したと思われる。しかし、一樣性や等方性は「特別な理由がないならば」という条件付きで出てくる結論である。空間や時間を、その中に世界が入る空っぽな器だと考えれば、この結論はもっともらしいが、現実の世界はそうではない。

世界の中の運動や変化に対する古典的な見方は因果的決定論である。ニュートン力学もマクスウェルの電磁気学も基本法則は微分方程式の形で書かれており、初期条件がわかればその後の様子は一義的に決まってしまう¹⁶。

無限に広がる一樣等方な空間と始めも終わりもない一樣な時間、そしてその中にある「物」は因果的決定論に従って連続的に運動する。これが古典物理学の描く世界である。

「解析力学」を学ぶと、抽象化された座標や運動量が登場する。このような視野の拡大の結果、空間の一樣性や等方性、時間の一樣性といった性質を認めると、空間の一樣性が運動量保存の法則、空間の等方性が角運動量保存に法則、時間の一樣性がエネルギー保存の法則に同値であることがわかる（ネーターの定理¹⁷）。

これに対して様々な疑問が湧いてくる。誰もが過去と未来は同じではないと思っている。「歴史」とか「進化」が事実であれば、基本法則が時間逆転の運動を許すことと折り合いをつけなくてはいけない。また、因果的決定論は私たちが持っていると思っている「自由意志」と矛盾しているように思える。いずれにしろ空間や時間の一樣性や等方性、因果的決定論など古典力学的世界観の中核となる概念は、信仰に過ぎないのかも知れない。すると、進化現象は古典力学が描く物理現象には付随しない可能性が

高い。

4 問題の認識論化

4.1 力学モデルと確率モデル

総合説は科学理論であるが、物理学や化学の理論とは異なり、歴史や進化についての理論である。どこが違っているか以下に列挙してみよう。

- (1) 進化の要因が複数あり、それらが因果的あるいは確率的に働き、進化が起こる。
- (2) だが、実際の進化モデルは一つの要因がどう働くかのモデルである。
- (3) 進化モデルは確率・統計的で、連続的な変化としての進化像とは違っている。

上の3つは何でもない事柄に見える。だが、次のような問いかけをすると意外に深刻な問題を含んでいることが見て取れる。「進化は因果的」は「運動は因果的」と異なる。また、進化の要因が複数あり、あるものは因果的、別のものは確率的と言うのであれば、何か奇妙だと思うのが普通だろう。複数の要因を一つのモデルで表現することができないというのが物理学の常識であるなら、「要因の総合」とは一体何かが改めて問われることになる。モデルは確率モデルであっても選択は確定的な力だと断言できる理由はあるのだろうか。「複数のパラダイムをもつ理論」という表現が総合説に合致するなら、総合説は矛盾を孕む理論ということになってしまう。生物学は異なるパラダイムのモザイクだということは認めるとしても、総合説という理論がモザイクの例だとなると困惑してしまう。力学モデルと確率モデルという異なるパラダイムのモデルをもつということになると総合説は両立しない世界観に基づく理論ということになってしまう。

この解決はモデルが情報についてのモデルで、情報は介入に相対的に確

定的、確率的いずれでも解釈可能であることを認めるなら、意外に簡単に解決できる。介入の仕方の違いに応じて異なる情報が獲得され、異なる情報に応じて進化の要因が異なるものとして特定されると考えることができる。

粒子論的なメンデル遺伝学をベースに置く限り、力学的な連続モデルはない。そのため、集団を基本にした選択は表現方法として確率モデルで考えることになった。そこでの二つの要因の理解は（１）のように捉えられた。それに対する別の見方が（２）である。

- （１）二つは異なる進化要因で、選択が確率概念を使って表現される古典的な決定論的過程であるのに対し、浮動は偶然的な確率過程である。
- （２）二つはサンプリングの二つの型、バイアスのあるサンプリングとバイアスのないサンプリングの違いに過ぎなく、サンプリングとして選択と浮動が両方働くことが説明できる。

上のように比較すると（１）の立場が伝統的であり、この立場は哲学的な隘路に入り込み、選択と浮動の不要な対立を煽るだけとなった（Matthen, M. and A. Ariew, 2002, Sober, 2006, Brandon, 2010）¹⁸。サンプリング概念を中心に置くことは交配の物理的な過程ではなく、情報の取り出し結果にだけ焦点を当てたもので、進化要因を情報という観点から捉え直したものと考えることができる。それによって、既述のように選択説と（ほぼ）中立説の関係をサンプリングの違いとして位置付けることができる。

自然選択説と中立説は互いに敵対する理論とされているが、二つの進化要因は総合説の主要要因と認められている。この混乱したように見える状況を単純にして、核心だけをはっきり取り扱うために、コイン投げのモデルを使って総合説のもつ理不尽な点を明らかにしていこう。

一枚のコインを一回投げるのは見えても、コイン投げの集団は見えない。同じように、生物集団の一部の１回の交配は見えても、集団全体の多数回の交配は見えない。だが、見えるコイン投げと見えないコイン投げの

集団は同じコイン投げである。同じ変化に見えても、ここには個体の変化と集団の変化の違いが歴然と存在する。だから、決定論的な古典力学的なモデルが1回のコイン投げに適用されるのに対し、コイン投げの集団は確率・統計的なモデルによって予測・説明される。その予測・説明される内容は1回のコイン投げの運動変化ではなく、コイン投げ集団の変化パターンである¹⁹。この違いは物理世界の物理的運動の違いではなく、コイン投げを知ろうとする私たちの認識論の違いである。1回のコイン投げとコイン投げ集団という認識論的（介入の）違いが決定論の説明と確率論の説明の違いを生み出している。

4.2 決定論から非決定論への移行

さらに、コイン投げの話を続けてみよう。1回コインを投げることは古典力学の典型的な運動変化であり、コインが投げられ地面に落ちるまでの軌跡は、リングが樹から落ちるのと同じように、決定論的な運動方程式によって記述・説明される。では、2回同じコインを続けて投げる場合はどうだろうか。1回投げる事が繰り返されるだけと考えるなら、初期条件を変えることによって同じ運動方程式を使えるので、同じように説明できると言えるのだろうか。2回のコイン投げの間にある時間間隔は普通無視される。2回のコイン投げは独立していて連続していない。というのも、投げ終わったコインをどのように拾い、投げるまでの状態にするかは一切方程式には表現されていないからである。つまり、2回のコイン投げは連続しておらず、コインを投げる事が2回並ぶだけである。そのような独立のコイン投げが何回も並んだのが、「独立事象としてのコイン投げ」である。明らかに連続するコイン投げという物理現象ではない。独立事象としての2回以上のコイン投げは認識的な出来事であり、連続するコイン投げの物理現象の一部だけを取り出した、「 n 回のコイン投げ」という情報なのである。つまり、1回のコイン投げという物理現象に介入しながら、

n 回のコイン投げという情報を取り出し、その情報を使ってモデルをつくるのである。だから、でき上がるモデルは情報についてのモデルになる (Keller, I. B., 1986, Diaconis, P., S. Holmes and R. Montgomery, 2007)。

この情報モデルは確率的で、それゆえ非決定論的な内容をもつことになるが、それは 1 回だけのコイン投げを支える古典的な決定論モデルと両立することも明らかである。情報と物理現象の違いが二つのモデルの間にあるからである。頻度解釈は通常同じ現象の集団について頻度を考えるが、その「同じ現象」の集団とは「情報として同じ現象」の集団である。統計力学が情報科学であるという Jaynes の主張とこれまでの説明とは同じ土俵上にある (Jaynes, 1957)。ここに決定論と非決定論の対立はない。決定論的な 1 回のコイン投げを出発点にして、「何度もコインを投げる」ことを「1 回コインを投げる」ことを使って構成することを認識レベルで行い、コイン投げの系列がもつ情報を頻度として浮かび上がらせるのがコイン投げの確率モデルの意義ということになる。

この情報は個々の状態や出来事にはない集団的なパターンをもっている。それが確率・統計的な規則性として表現されることになる。ここには決定論と非決定論の対立などない。個々の出来事に還元できない確率モデルは個々の出来事の正確な予測はできないが、一般的なパターンの説明には至極向いている。

4.3 選択と浮動

選択と浮動は異なる進化要因である。だが、この二つの要因を認識論的に眺め直すなら、二つは同じ構図の中の異なる認識論的観点からの変化の捉え方を表している。

Brandon に代表される考えは浮動をベースに進化現象を捉え直そうとする (Brandon, 2010)。サンプリングが世代交代の情動的な表現だとすれば、バイアスのないサンプリングが通常の進化現象の基本であり、その特

徴は偶然にある。この偶然にバイアスを入れることによって規則的な結果を実現するのが選択である。つまり、選択はバイアスのあるサンプリングである。

サンプリングとして世代交代を解釈し、サンプリングの系列を使って集団の変化を捉えるなら、バイアスの有無が選択と浮動の違いとなるが、結局はサンプリングという点では同じものということになる。二つの異なる要因はサンプリングの種類の違いということになる。移住や突然変異についても同様のことが言える。集団に別の集団から個体に移住するとは、サンプリングの母集団が変わることであり、移住は異なる母集団からのサンプリングということになる。突然変異の場合も集団内の DNA の変化であるから、異なる集団からのサンプリングということになる。サンプリングという世代交代の統計的な解釈は複数の進化要因をサンプリングの条件や方法の違いとして考えることができることから、どの要因も「...のサンプリング」と表現できることを示している (Beatty, 1984)。

このような考察から、進化要因はサンプリングの違いとしてまとめて考察できることになる。これが要因の認識論化、数学化の第1段階である。サンプリングの仕方を丁寧に分類し、その結果を比較することによって多様な進化が表現できることになる。

5 終わりに

私たちは総合説を再検討してきた。総合説は様々な介入によって生物世界を切り取り、情報を知識に変えてきた。異なる介入と気づきが異なる情報を取り出し、それが異なる知識になることを認めるなら、同じ領域の対立する理論のいずれが正しいかの決着は曖昧になってしまう。これがこれまでの哲学的な話の弱点である。古典力学と量子力学は異なる介入による異なる知識だから対立しても不思議はなく、調停はできない、と結論するのと変わらない。両立しない理論のいずれが正しいかの一意的な解答がい

つもあるわけではないが、全く比較検討ができないというのでは悪しき相対主義でしかないことになる。すると、異なる介入や気づきの共通部分をどのように見極めるかが次の問題となる。選択説とほぼ中立説の調停的な部分はどのように考えるべきなのか。そのためには、介入と情報が同じであると仮定できる状況を見出し、「情報処理の仕方の違い＝理論の違い」に議論を集中すべきである。だが、それがいつも可能とは限らない。むしろ、同じ介入と情報の仮定は難しく、力学モデルと確率モデルのように公理やパラダイム、あるいは認識論の違いが介在する場合が多く、簡単にはいかない。

古典力学では介入そのものを無視することによって、物理系とその系の時空内での運動変化という単純なモデルが生み出された。そのモデルを使って力学的な知識を得るという習慣が定着し、「モデルの内容は即実在である」と敢えて簡略化することによって、単純明快な説明が手に入ることになった。一種類の介入による一種類の情報、そして一種類の知識という構図は、一種類の認識論的観点がそのまま存在論的、実在論的観点でもあるという立場を支えてきた。これはむしろ稀有な僥倖で、実は認識論的観点の簡略化だった実在論が科学革命によって勝利し、伝統的な存在論を継承したのである。単純な力学モデルは一つの介入の仕方と、それを表現したモデル（物理系、時空、運動）からなり、そのモデルは存在論的に解釈できる。そして、自然選択説もこの古典的な介入の仕方に基づく筈のものとして、ごく当たり前に決定論的な因果的出来事の過程が自然選択の過程だと受け取られてきた。

複雑な構造をもつ生物集団に対しては複数の異なる介入の仕方がある。生態系と進化系は異なる介入から生まれ、細胞学と生態学も異なる介入方法をもつ。進化論に限っても複数の介入の仕方があり、その分だけ異なる情報と異なる知識が併存することになる。複数の介入の存在は一つの実在を定着させることができず、複数の情報が対応することになる。情報を処

理した結果である知識も複数の異なる種類の知識となり、それらは時には矛盾するようにさえ見える。

総合説は、したがって、複数の種類の情報に基づく、複数の種類の知識の集まりということになる。一枚岩の古典物理学の個々の理論とは異なり、一つの理論が異なる複数のモデルをもっている。モデルは情報を処理する装置であり、異なるモデルを使った異なる結果は、異なる知識ということになる。この意味で総合説は統一された理論 (unified theory) ではない。複数の理論の集まり (collection of theories) に過ぎない。その具体的な証拠が複数の進化要因の併存である。それらは進化を引き起こす要因と考えられているが、選択説と中立説のように相反する主張ともみなされてきた。

介入と、そのための基本図式、情報から情報処理を経ての知識の獲得という過程を想定して、総合説を見直してきたが、その結論は、総合説は認識論化して理解されるべきであるというものだった。なかでも自然選択と遺伝的浮動の関係は重要で、認識論化によって二つの関係が明らかにされた。存在論的には二つは異なる進化の要因であり、いずれが進化を引き起こす力として主要な力であるかがフィッシャーとライトの間で論争になった。一方で、分子レベルでの中立説とダーウィンの自然選択説は異なる理論として解釈されている。それは古典力学と量子力学が棲み分けられていることに似ている。だが、異なる理論が進化を説明するのではなく、複数の要因が進化を説明すると受け取られている。二つの理論が対立するというのは二つの要因を存在論的に理解した結果である。二つの要因を認識論的に解釈すれば、サンプリングの二つのパターンであることから、二つは一つの要因の二つの側面に過ぎないことになる。つまり、バイアスのあるサンプリングかバイアスのないサンプリングかの違いであり、いずれもサンプリングであることは同じである。サンプリングの違いが選択と浮動の違いに過ぎなく、ほぼ中立説と選択説の調節的な関係を支持している。

コイン投げは単なる比喩以上に進化論の認識論的理解の正しさを示唆するものになっている。コイン投げは物理的な出来事だが、それ以上に情報的である。コイン投げの統計的内容は、情報が決定論的であっても決定論が成立しなくて構わないこと、情報が確率論的であっても、非決定論が成立しなくて構わないことを意味している。

総合説の各命題の前提が異なることを確認し、それらを明記することによって見かけの矛盾を回避することは可能である。介入と気づかれる情報とが雑多に集められたのが総合説だと譲歩するなら、総合説は理論の集まりとして進化について主張するものだと言える。総合説は因果的变化を説明する力学モデルではなく、情報についての多様なモデルの集まりで、矛盾するように見えるモデルさえ含み、複眼的で多様な介入をもつ集合体である。

総合説は実に曲者だが、哲学にとってはこの上ない刺激を与えてくれる。形式的には矛盾する力を複数認める理論でありながら、実際には矛盾などなくモザイクとして存在し、歴史的な理論として君臨している。

註

¹「介入」はHacking (1983) のタイトルの一部になっていて、実験、観察、測定のことを指している。彼は实在論を主張するが、その理由として科学における介入を挙げる。介入は理論的存在に対する実際の操作で、経験主義的なものだからである。私は介入を情報の取り出しと考えるので、Hacking の介入とは意味が異なる。

²ダーウィンから始まる進化論は総合化を目指し、進化現象の自然化が追究された。自然化や物理化が古典物理学によって問題を表現し、解決することであるなら、進化論の場合は全く違っている。進化論の場合は非古典的な科学への翻訳、還元が必要である。それを示すために以後は情報化、認識（論）化という言葉が使われる。認識の外在化が情報、情報の内在化が認識、内在化の結果が知識である（外在的な表象主義）。

³決める-認識論-情報-認識化、決まる-存在論-实在-自然化と、それぞれを図式化すればわかりやすいだろう。

- ⁴ →が論理的な条件法か、因果的關係かは極めて微妙な事柄である。ここでは両方の解釈を許すことができることだけ確認しておこう。1.2の基本図式の→も同じである。
- ⁵ 気づくことが即わかることであると思われるのが通常の生活上のわかり方である。だが、そのように直接的でないものもある。気づいてもそれが何かわからない場合である。そのような場合、私たちの好奇心は大いに刺激され、躍起になってわかつて、これが疑問をもつという仕方であらう。これまで私たちが知識を獲得する有力な方法と思われてきた。
- ⁶ 「気づき」は適応であるとともに、「気づき」を自動化して消去することも適応である。気づく行為が習慣化し、気づかなくてもその行為が実行できるということになれば、自動化は優れた適応と考えることができる。
- ⁷ 自然選択が働かない場合の法則と遺伝的浮動だけが常に働いている法則のいずれも力学の慣性の法則に対応すると考えることができる (Brandon, 2010)。ここでは古典力学的な枠組みで進化の要因を考えてみる。
- ⁸ ある世代の遺伝子と遺伝子型の頻度を仮定し、次の世代の変化を考えてみよう。遺伝子 A と a 、三つの遺伝子型 AA , Aa , aa を仮定する。 N 世代での A の頻度を p 、 a の頻度を q とし、この集団は上の条件をすべて満たすとする。交配が任意だから、対立遺伝子はランダムに接合子の遺伝子型をつくる。集団は無限だから、特定の対立遺伝子をもつ配偶子の確率はその対立遺伝子の頻度である。同様に、特定の遺伝子型の確率がわかれば、集団内のその遺伝子型の頻度もわかる。だから、遺伝子型 AA は確率 p の対立遺伝子 A の卵と、確率 p の対立遺伝子 A の精子から得られる。その確率は、 p^2 である。同じように、遺伝子型 aa の確率は q^2 である。 Aa は、 A の卵と a の精子、 A の精子と a の卵があり、それぞれの確率は pq なので、合わせて $pq+pq=2pq$ となる (集団がハーディー-ワインバーグ均衡にあれば、遺伝子頻度がわかれば、遺伝子型頻度がわかり、その逆も成立する)。さて、遺伝子型頻度と遺伝子頻度には何の変化も起きない。遺伝子型は同じ適応度をもつので、それらに変化を起こす原因はない。だから、それらの接合子からできる個体は同じ遺伝子型頻度をもつ。これら個体が次世代の配偶子をつくる。それら配偶子の遺伝子頻度は次のようになる。 AA の個体からの配偶子はみな遺伝子 A を、 Aa の個体からの配偶子の半分が遺伝子 A をもつので、次世代に伝わる遺伝子 A の頻度は $p^2 + (1/2)2pq = p^2 + pq = p(p+q)$ となる。 $p+q=1$ より、 A の頻度は p 。したがって、遺伝子 A の頻度に変化はない。 $p+q=1$ より、遺伝子 a にも変化はない。次世代の遺伝子型頻度はこれら遺伝子の頻度に基づいているので、遺伝子型の頻度も世代間で変化はない。

⁹ そのような選択のモデルの例を挙げておこう。

(例1) 劣性遺伝子に不利な選択

遺伝子 A (をもつ個体) と遺伝子 a (をもつ個体) の間に適応度の違いがあるとして、 A が a より有利な場合は、 A が 1 なら、 a は $1-s$ と表現できる。この s は選択係数である。すると、次のことがわかる。

AA が 1 , Aa が 1 , aa が $1-s$ であると、 a は失われる。

AA が 1 , Aa が 1 , aa が $1+s$ であると、 A が失われる。

AA が $1+2s$, Aa が $1+s$, aa が 1 であると、 a が失われる。

AA が $1-2s$, Aa が $1-s$, aa が 1 であると、 A が失われる。

(例2) 超優性選択 (overdominant selection)

(例1) の場合と同じように、 AA $1-t$, Aa 1 , aa $1-s$ であるとしてみよう。すると、 A の頻度 p は $s/(t+s)$ の均衡値をもつ。ここで、ヘテロ接合体が最も高い適応度をもつ。ある世代の頻度が均衡値より低ければ、この値まで上がる。また、均衡値の上であれば、均衡値まで下がる。

¹⁰ 偶然、ランダム、確率、確率過程等々、様々な用語が存在し、それらの関係は実に多様である。下線の文章は一見正しそうだが、反論は可能である。私は「偶然」を「確定的でない」という量子力学での意味と同じように考えた。

¹¹ E. Mayr の確率・統計的な遺伝学への批判を込めた用語。詳しくは Dronamraju, K. (2011) を参照。

¹² 分子進化のほぼ中立説 (弱有害突然変異体仮説) は、分子進化の中立説から発展し、分子レベルでの弱有害突然変異が生物進化に及ぼす効果を理論的に説明する仮説で、1973 年に太田朋子によって提唱され、1990 年代初頭にはほぼ中立である弱有利突然変異と弱有害突然変異の効果を含む説に拡張された。詳しくは、太田朋子『分子進化のほぼ中立説-偶然と淘汰の進化モデル』ブルーバックス 講談社 2009 を参照。

¹³ 次の例を比喩として考えみれば、状況依存性は何かがわかるのではないか。色や音は、健常者には実在するが、先天的視聴覚障害者には実在しない。また、色や音は、健常者には実在するが、測定器には実在しない。A さんのクオリアは A さんには実在するが、B さんには実在しない。心は、普通の人たちには実在するが、唯物論者には実在しない。さらに、数や普通名詞の指示対象は、プラトン主義者にだけ実在する。

¹⁴ 実在の多様な意味については『別冊日経サイエンス No. 186 実在とは何か』(2012. 8) を参照。

¹⁵ 付随性を使った例に次のものがある。心の機能主義は、心理的なトークンは

物理的なトークンであるが、心理的な性質（タイプ）は物理的な性質（タイプ）ではないと主張する。機能主義は心理的性質が物理的な性質に付随し、心理的性質は複数の物理的なトークンによって実現できる（multiply realizable）と考える。これは、心的な性質が生み出されるのに多くの異なる物理的な方法があることを意味している。したがって、心的な性質は物理的な性質ではない。しかし、心的なトークンは物理的なトークンである。これが機能主義の基本的立場である。心理的性質が特定の物理的なトークンではないとすると、どのような性質なのか、心理的な性質は機能的な性質であるというのが機能主義の主張である。

- ¹⁶ ニュートン方程式は $f=ma$, あるいは $m d^2 r / dt^2 = f$ という簡単な形で、これを解けば、ある時刻の位置と速度からそれ以後のすべての運動が決まってしまう。マクスウェル方程式はこれより複雑だが運動の決定については同じである。
- ¹⁷ 「ある作用に何等かの対称性（不変性）が存在すれば、それに対応する保存則が成立する。」（ネーターの定理）
- ¹⁸ 自然選択に関する解釈の問題、選択と浮動の関係、因果的決定論と確率・統計的非決定論の議論は生物学の哲学の主要な課題として今でも活発に議論され続けている。
- ¹⁹ コイン投げを典型的な力学現象と捉え、その軌跡を描くのが力学モデルである。一回のコイン投げの運動方程式を作り、解くことになる。一方、コイン投げを確率過程と捉え、表裏の結果の頻度を予測するのが確率モデルである。私たちが「コイン投げ」で通常想像するのは確率モデルである。

References

- Beatty, J. (1984). "Chance and Natural Selection," *Philosophy of Science* 51: 183-211.
- Brandon, R. and S. Carson (1996). "The Indeterministic Character of Evolutionary Theory: No 'No Hidden Variables Proof' but No Room for Determinism Either," *Philosophy of Science* 63: 315-337.
- Brandon, R. (2010). "The Principle of Drift: Biology's First Law," *Philosophy of Biology: An Anthology*. Ed. Alexander Rosenberg and Robert Arp. Chichester (U.K.): Wiley-Blackwell, 84-94.
- Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, John Murray. 『種の

- 起原』〈上・下〉, 八杉龍一訳, 岩波文庫, 1990 年
- Dawkins, R. (2006). *The Selfish Gene* (30th anniversary ed.), Oxford University Press.『利己的な遺伝子』日高敏隆・岸由二・羽田節子・垂水雄二訳, 紀伊国屋書店, 2006 年 5 月, 増補新装版.
- Diaconis, P., S. Holmes and R. Montgomery (2007), "Dynamical Bias in the Coin Toss," *SIAM Review*, Vol. 49, Issue 2, 211-235.
- Dronamraju, K. (2011). *Haldane, Mayr, and Beanbag Genetics*, Oxford University Press.
- Fisher, R. A. (1930). *The Genetical Theory of Natural Selection*, Clarendon Press.
- Glymour, B. (2001). "Selection, Indeterminism, and Evolutionary Theory," *Philosophy of Science* 68: 518-535.
- Graves, L., B. Horan, and A. Rosenberg (1999). "Is Indeterminism the Source of the Statistical Character of Evolutionary Theory?" *Philosophy of Science* 66: 140-157.
- Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening; Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge University Press. 渡辺 博訳『表現と介入—ボルヘスの幻想と新バーコン主義』, 産業図書
- Jaynes, E. T. (1957). "Information Theory and Statistical Mechanics," *Physical Review* 106(4): 620-630.
- Jaynes, E. T. (1957). "Information Theory and Statistical Mechanics II," *Physical Review* 108(2): 171-190.
- Keller, I. B. (1986), "The Probability of Heads," *The American Mathematical Monthly*, 93(3): 191-197.
- Kimura, M. (1969). "Evolutionary Rate at the Molecular Level," *Nature*, 217(5129): 624-626.
- Matthen, M. and A. Ariew (2002). "Two Ways of Thinking About Fitness and Natural Selection," *The Journal of Philosophy* XCIX(2): 55-83.
- Mendel, J. G. (1866). "Versuche uber Pflanzenhybriden," *Verhandlungen des naturforschenden Vereines in Brünn*, Bd. IV für das Jahr, 1865 Abhandlungen: 3-47. For the English translation, see: Druery, C. T and William Bateson(1901). "Experiments in Plant Hybridization," *Journal of the Royal Horticultural Society* 26: 1-32.
- Mills, S. and J. Beatty (1979). "The Propensity Interpretation of Fitness," *Philosophy of Science* 46: 263-286.
- Millstein, R. (2002). "Are Random Drift and Natural Selection Conceptually

- Distinct?" *Biology and Philosophy* 17: 33-53.
- Ohta, T. (1973). "Slightly Deleterious Mutant Substitutions in Evolution," *Nature* 246(5428): 96-98.
- Provine, W. (1986). *Wright and Evolutionary Biology*, University of Chicago Press.
- Searle, J. (1980). "Minds, Brains, and Programs," *Behavioral and Brain Sciences* 3: 417-424.
- Sober, E. (1984). *The Nature of Selection: Evolutionary Theory in Philosophical Focus*, Bradford/MIT Press.
- Sober, E. (2006). "Evolutionary Theory as a Theory of Forces," *The Nature of Selection: Evolutionary Theory in Philosophical Focus*. Cambridge, MIT, 1984: 13-59.
- van Fraassen, Bas C. (1980). *The Scientific Image*, Oxford University Press. 丹治信春訳『科学の世界像』紀伊國屋書店, 1986 年