

Title	集団的思考：集団現象を捉える思考の枠組み
Sub Title	Population thinking : framework for thinking about population phenomena
Author	森元, 良太(Morimoto, Ryota)
Publisher	三田哲學會
Publication year	2015
Jtitle	哲學 No.134 (2015. 3) ,p.33- 54
JaLC DOI	
Abstract	Biologist Ernst Mayr says that Darwin's great contribution is to introduce into biology a new way of thinking, "population thinking." Since then, you find the phrase in many literatures on biology. According to him, it replaced typological thinking which he assumes to be based on essentialism. However Elliott Sober criticizes him for his misunderstanding of Darwin's innovation. First, I summarize Mayr's characterization of population thinking and then survey Sober's criticism. Sober says that population thinking doesn't clash with typological thinking but with Aristotle's model of essentialism which Sober calls "natural state model." Next, in order to clarify the nature of population thinking, I describe how population thinking has emerged. After Darwin, many authors, especially Francis Galton and Ronald Fisher, mathematize evolutionary theory. They change the concept of population, and a new way of thinking about normality emerges. Finally, I discuss what population thinking really brings about and argue that population thinking nowadays is essential to biology and other sciences.
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=AN00150430-00000134-0033

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

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.

集団的思考

——集団現象を捉える思考の枠組み——

—— 森 元 良 太* ——

Population Thinking: Framework for Thinking about Population Phenomena

Ryota Morimoto

Biologist Ernst Mayr says that Darwin's great contribution is to introduce into biology a new way of thinking, "population thinking." Since then, you find the phrase in many literatures on biology. According to him, it replaced typological thinking which he assumes to be based on essentialism. However Elliott Sober criticizes him for his misunderstanding of Darwin's innovation. First, I summarize Mayr's characterization of population thinking and then survey Sober's criticism. Sober says that population thinking doesn't clash with typological thinking but with Aristotle's model of essentialism which Sober calls "natural state model." Next, in order to clarify the nature of population thinking, I describe how population thinking has emerged. After Darwin, many authors, especially Francis Galton and Ronald Fisher, mathematize evolutionary theory. They change the concept of population, and a new way of thinking about normality emerges. Finally, I discuss what population thinking really brings about and argue that population thinking nowadays is essential to biology and other sciences.

* 北海道医療大学

1 マイアの集団的思考

「ダーウィンが生物学へ果たした偉大な貢献を簡潔に述べるとき、どの分野の批評家たちもきまって、ダーウィンの革新を『集団的思考 (population thinking)』という一言でまとめる」(Ariew 2008, p. 64). これは『オックスフォード版・生物学の哲学の教科書』の「集団的思考」の項目でダーウィンの成果を表した文である。集団的思考の正確な内容については本稿で明らかにしていくが、簡単に述べておくと、集団現象を捉えるときに集団を構成する個々の対象の振舞いを積み上げていくのではなく、集団自体を基礎的なものとする思考の枠組みのことである。この言葉は生物学者エルンスト・マイアがダーウィンの貢献を表現するときに造語したものであり、彼は「科学の文献に『集団的思考』という新しい思考法を導入したことにある」と評している (Mayr 1959b, p. 410). この思考法は近代統計学の礎を築き、現代では、生物学はもちろんのこと、物理学、心理学、社会学、経済学、医学など多岐の領域にわたって思考の枠組みの一部をなすに至った。また、この思考法の出現は「正常」というごく日常的概念に新たな意味を付与することにもつながっている。集団的思考は科学だけでなく日常においても思考の根底に流れており、その正しい内容と意義を明らかにすることは重要な課題である。そこで本稿は、この思考法の本質に迫ることにする。

集団的思考とはどのような考え方なのだろうか。まずは名付け親のマイアの考えをみることにしよう。先に述べておくと、彼自身の考えには異議を差し挟む余地があり、それについては後で論じる。マイアによると、集団的思考は生物学以外の分野にはあまり浸透してなく、彼は著名な物理学者のウォルフガング・パウリと意見を交わしたとき、「集団的思考は、物理主義的思考に慣れた人々には理解に苦しむようである」(Mayr 1997, p. xvi) と感想を漏らしている。マイアが物理主義的思考と呼ぶのは、一つの対象の変化を基本として還元的に現象を捉える考え方のことである。

正確には、物理主義というよりも、還元主義もしくは物質一元論といった方がよいだろう。還元主義者に理解しがたい集团的思考について、マイアは次のように説明することでこの著名な物理学者を納得させている。「私がそれぞれ互いに異なる向きと速さで運動するわずか 100 個の分子からなる気体を想像するように提案すると、パウリはようやくその考え方をほぼ理解できた」(*ibid.*, pp. xvi-xvii)。これは統計力学という物理学の一分野で想定されている考え方である¹。

マイアは集团的思考の特徴を説明するのに、古代から受け入れられてきた「本質主義 (essentialism)」という考えと対比させる。本質主義は、たとえば三角形に三つの辺をもつという固有の性質があるように、事物には本質という固有の性質があるという考えである。マイアが言及するのは、生物種にもその種固有の性質があるとする本質主義である。彼によると、このような本質主義の考えでは、生物学の目標は種の本質を特定することにある。類型学 (typology) は本質を探究する典型的な分野であり、生物の間の類似性から生物種の本質を究明しようとする。本質主義的な類型学について、マイアは次のように述べている。「集团的思考を採る人と類型学者の最終的な結論は正反対である。類型学者にとって、タイプ (エイドス) は実在するが、変異は幻想である。それに対し、集团的思考を採用する人にとって、タイプ (平均) は抽象的なものであり、変異のみが実在する。この二種類の自然の見方ほど異なっているものはないだろう」(Mayr 1959b, p. 2)。変異とは、生物の個体間の違いである。彼によると、「類型学的思考 (typological thinking)」を採る人は三角形一般や集団平均といったものを実在とみなすが、具体的に描かれた一つひとつの三角形や生物集団における個体間の違いは実在とはみなさない。一方、集团的思考を採用する人は、平均といった抽象的対象は実在せず、さまざまな点で異なる生物個体やそれぞれの具体的な三角形が実在すると考える。このようにマイアは、集团的思考の革新的な点は生物間の共通性ではなく、それら

の違いを実在とみなしたところにあると主張するのである。

マイアはさらに、進化についての数理的研究分野である集団遺伝学の未熟さを批判する道具としても集団的思考を用いる (Mayr 1982)。彼によると、物理の世界は定量的であるのに対し、生物の世界は定性的である。生物の定性的な側面は定量的に表すことはできるが、それにより個々の生物の実在性は失われてしまう。集団遺伝学の数理的アプローチは、生命現象を定量化するとき過度に単純化するあまり生物集団を純血なものとし、類型学的に捉えてしまっている。それゆえ、集団遺伝学は集団内の個体間の違いを反映できず、非現実的な結論へと不可避免的に陥ってしまう。このような類型学的思考はダーウィンの導入した集団的思考ではないので、自然選択をうまく捉えられていない。マイアは、「個体の唯一性を理解しない人は自然選択の働きを理解することができない」(Mayr 1982, p. 47) と述べ、集団遺伝学者を批判する。ちなみに、引用文の「個体の唯一性を理解しない人」は、集団遺伝学者で近代統計学の父とも呼ばれるロナルド・フィッシャーのことである。

この批判は、マイアが集団遺伝学を「豆袋遺伝学 (beanbag genetics)」と揶揄したことに関連している。彼はかつて、1950年代半ばまでに形成された集団遺伝学を豆袋遺伝学と批判した (Mayr 1959a; Mayr 1976)。彼は当時の集団遺伝学に対して次のように注意を促す。「この時代は過度の単純化がなされていた。進化的変化は、豆袋から豆を出し入れするのと同じように、本質的に遺伝子出し入れとして表現された」(Mayr 1976, p. 309)。マイアによると、当時の集団遺伝学では遺伝子間の相互作用が考慮されていないため、一つの遺伝子に対して一つの適応度が不変的な値として与えられると仮定されていた。この仮定が実際に立てられていたかはさておき²、集団遺伝学モデルが、単純化された前提の上で成立していることは確かである。ただし、マイアは当時の研究の方向性が完全に間違っていると否定したいわけではなく、過度の単純化は研究分野の発展に必要

な段階だとしている。

集団的思考というマイアによる進化論の特徴づけは、生物学の哲学者や歴史家の間で広まった。ところが、彼による集団的思考の解釈、および集団遺伝学への批判のどちらにも問題があり、進化論の革新を十分に捉えているとはいえない。これらの問題については3節と4節でそれぞれ検討するが、その前に集団的思考の本質を理解するため、次節ではこの新しい思考の枠組みが誕生した経緯をみておくことにしよう。

2 集団的思考の出現

科学哲学者のエリオット・ソーバーによると、集団的思考という新しい思考の枠組みが登場したのは、誤差論が進化現象の説明に援用されたときである。本節では、誤差論から集団的思考の出現へ至る歴史をひも解き、集団的思考の本質に迫る。

誤差論は天文学において観測誤差を処理するために開発された理論である。同じ対象について複数回測定してみると、測定結果はいつも同じ値になるわけではなく、ばらつきが生じる。というのも、測定の際の環境や条件の違い、実験器具や実験者の影響などによって誤差が生じるからである。誤差論は、測定の際に生じるこうした誤差を考慮したうえで、ばらつきを伴う測定結果から真の値を推測する手法を提供してくれる。誤差論の基礎を築いたピエール・ラプラスとカール・ガウスは次のように考えた。ある対象の測定においてほんとうは真の値がただ一つ存在する。だが、測定するときに誤差が生じるので、測定結果はばらついてしまう。測定結果は真の値と誤差の二つの成分からなっており、測定回数が多ければ測定結果の平均値は真の値に近づいていく。こうした考えのもと、彼らは測定回数が増えれば結果のばらつきがベル型の分布に近づいていくことを数学的に証明したのである (Stigler 1986)。この分布はガウスの功績を讃えて「ガウス分布」と呼ばれている³。マイアが類型学的思考と呼ぶのは、こ

の誤差論の考えに近い。誤差論の考えを変異の説明にあてはめると、変異は自然界に関するものではなく、測定に関するものとされる。すなわち、平均が真の値であり、変異や誤差は幻想である。

その後、社会学者のアドルフ・ケトレーは「社会物理学 (Social Physics)」と自ら名づけた分野へ誤差論の考えを適用した (Quetelet 1835)。彼は「平均的人間 (average man)」という新たな概念を考案し、集団における多様な性質や特異的な性質を除外するとともに、集団の中心となる性質に焦点を絞ったのである。彼は社会現象の理解を容易にするため、虚構として平均的人間という概念を導入したのだが、その一方で、平均的人間は因果的役割を担うとも考えた。社会における平均的人間と物理学における重心は類似しており、重心が因果的役割を担うことから、平均的人間も同様の役割を担うはずだと類推したのである。それゆえ、ケトレーは平均的人間を単なる抽象物でなく、実在的なものとみなすようになる。彼にとって、誤差論は誤差についての法則ではあったが、誤差は測定に伴うものではなく、自然界の出来事に関するものであった。ただし、ケトレーは個体間の違いを重要視せず、あくまで平均に注目した (Sober 1980)。

「分布」についての考え方を大きく変えたのは、ダーウィンの従弟フランシス・ゴルトンである。彼はダーウィンの『種の起源』とケトレーの『社会物理学の試論』に感銘を受け、進化論を数学化する先駆的研究をおこなった。ゴルトンは学生時代、優等生は親も優等生であることが多いことに興味をもち、遺伝現象の解明に努める。その後、『遺伝的天才』のなかで、誤差論を遺伝現象の説明に援用した (Galton 1869)。彼が注目したのは平均ではなく分布であった。ある世代の変異は前の世代の変異、および変異の遺伝によって説明される。彼は誤差分布を遺伝によって生じる個体差と関連させることで集団概念の意味を変え、誤差法則を誤差についての法則から集団についての法則へと変換したのである。

ゴルトンは人の身体的および精神的特徴を測定することが、人間の本

性を理解する鍵となると考え、さまざまな人種や階級の人体測定をおこなった。その結果、たとえば人の身長や胸囲はどんな種類の集団で測定しても、似たようなベル型のガウス分布となることを実証した。それだけではなく、生物集団にみられる形質の分布を、遺伝要因による分布と環境要因による分布に分離させる解析法も考案し、遺伝要因による分布の変化を表す法則として「祖先遺伝の法則 (law of ancestral heredity)」を突き止めようとした。この法則によれば、形質の半分はそれぞれの親から、 $1/4$ はそれぞれの祖父母たちから、 $1/8$ は曾祖父母から、…という仕方を受け継がれる。そのため、変異は遺伝要因によって減少することになる⁴。ところが、実際の観察結果は、変異の量が世代を通じて一定であることを示している。そこで彼は、環境要因が変異を増加させるように作用すると考えた。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ると、世代を通じて変異は一定になると説明する。このように、観察される形質の分布は遺伝要因と環境要因の二つの分布を足し合わせたものとして表される。

また、ゴールトンはこのとき、分布間の関係を表すための「相関 (correlation)」という新しい概念も考案している。たとえば親と子の身長という二つの変数のあいだの関係を調べてみると、親の身長が高ければその子の身長も高く、親の身長が低ければ子の身長も低い傾向があることを確認できる。このように、一方の変数の値が増えれば他方の変数の値が増加し、その逆も成り立つとき、二つの変数は正の相関があるという。また、一方の変数の値が増えれば他方の変数の値が減少し、その逆も成り立つとき、二つの変数は負の相関があるという。さらにゴールトンは、先祖返りもしくは「回帰 (regression)」と呼ばれる現象も発見した。背の高い親から背の高い息子が生まれる傾向にあるが、平均より極端に背の高い親からはそれ以上背の高い子が生まれず、子の身長は平均に回帰する傾向がある。回帰の現象は身長に限らず、さまざまな形質に見出された。この

ようにゴールトンは遺伝という集団現象を説明するために、さまざまな統計の概念を考案した。彼の考案した相関や回帰はいまでも統計学で広く用いられている。

ゴールトンにとって、変異は単なる測定誤差ではなく、それ自体法則的な作用を受けるような集団の性質であった。彼は回顧録のなかで次のように述べている。「ガウスの誤差法則の主要な目的は、私が利用したものとある意味正反対である。本来の目的は誤差を取り除いたり斟酌したりすることであった。しかし、こうした誤差ないし分布は、まさに私が失われないうちに残して知りたかったものである」(Galton 1908, p. 305)。ゴールトンのおかげで、変異は個体の性質ではなくなり、集団の性質となったのである (Sober 1980)。

集団現象がベル型分布を示すのは遺伝現象に限ったことではない。ゴールトンはそのことに気づいており、ベル型分布がどこにでもみられるあたりまえの現象であるという事実を広めようとした。そこで、彼はクインカンクスという装置を発明した。これは台一面に釘が規則正しく配置されているパチンコ台のような装置で、その台の上部からボールを次々落としていくと、台の下部に溜まっていくボールはベル型分布を示すのである。クインカンクスは誰がいつどこでやっても同じ結果となるので、ゴールトンは公共の場で何度も披露し、ベル型の分布があたりまえの現象であることを人々に例証してみせた。しかも彼は、誤差の分布に名付けられたベル型のガウス分布を「正規分布 (normal distribution)」, すなわち「正常 (ノーマル) な」分布と呼び変えた⁵。ゴールトン以降、集団現象がベル型の分布を示すのは正常なこととなったのである。もはや、集団における身体的特徴などの変異は単なる測定誤差とみなされなくなった。科学哲学者のイアン・ハッキングは、集団現象を自律的に説明し、偶然という厄介な概念を手なずけるのに成功した偉大な人物としてゴールトンを讃えている (Hacking 1990)。自律的な説明とは、変異を説明するのに個体の性質を積

み上げていくのではなく、集団自体のしたがう法則を使うことである。そのとき、ベル型の分布によって集団の変化が表現され、集団を構成する生物個体についての詳細な情報は捨象される。ゴールトンの説明はまさにそのようなになっている。クインカンクスの事例では、ボール一つひとつの運動の詳細に依拠することなく、ボールの集まり自体がいつもベル型の正常な分布を示すことによって説明される。遺伝現象も同様であり、親子の個体の詳細に立ち入ることなく、親世代における集団の形質分布と遺伝の法則から子の世代の分布を説明することができる。集団的思考という新しい思考の枠組みは、ダーウィンの進化論で産声をあげ、ゴールトンにより集団現象の正常な捉え方として出現した。

3 集団的思考についてのマイアの誤解

集団的思考が出現する歴史的経緯をみると、マイアによる集団的思考の理解は問題ををはらんでいるように思われる。マイアはどこで間違っただろうか。ソーバーは、マイアによる集団的思考の解釈を批判している(Sober 1980)。本節では、彼の指摘した問題点を紹介する。

マイアによると、集団的思考というのは生物の個体間の違いが実在することを認めるが、平均などの抽象的対象が実在することは否定する考え方である。こうした解釈に基づき、彼はフィッシャーをはじめとする集団遺伝学者に対し、個々の生物の違いを実在とはみなさない本質主義者だと批判した。しかし、集団遺伝学者を含め、個々の生物の違いが実在しないと考える人などいるのだろうか。ソーバーは、変異の存在は本質主義と集団的思考との相違点ではないとマイアを批判する。ソーバーによると、本質主義と集団的思考のどちらの考え方を採用しても、変異が実在するのを認めることはできる。両者の違いはそのことではなく、変異を説明するときの方略にある。集団的思考は、単に本質主義的思考を拒否しただけではなく、後述するアリストテレスの「正常モデル (normal model)」という伝

統的な考え方を排除したのである。混乱を招きかねないが、正常モデルというところの「正常」はゴールトンが「正常な分布」で意味したものとは異なる。ゴールトンにとっての正常とは集団現象がベル型の分布を示すことであるが、以下でみるようにアリストテレスの正常モデルはそうではない。

ソーバーによると、本質主義は変異を構成している基礎的な秩序の解明を目的とし、アリストテレスの「正常モデル」という説明方式を採用する (*ibid.*)。正常モデルでは、どのようなものにもそれ本来の存在の仕方と場所があり、その本来的な姿を正しく把握することが本質の理解につながるとされる。そして、本来的な姿を正常あるいは自然な状態とし、何らかの力が干渉して本来的な姿からの偏りを異常あるいは不自然な状態とする。物理現象を例に考えてみよう。岩のような重い物体はほとんど動かないが、埃のような軽い物体はよく動く。物体の状態の違いの背後にあって、それぞれをまとめあげている秩序とは何だろうか。アリストテレスの正常モデルによると、月下の世界において物体はいまでいうところの地球の中心に位置することが正常ないし自然な状態である。だが、ほとんどの物体はそこに位置していない。なぜなら、物体に何らかの干渉力が働いて、地球の中心に位置するのを妨げているからである。物体の状態のさまざまな違いは干渉力による自然な状態からのずれとして説明される。つまり、干渉力がなければ、すべての物体は同じ場所に位置し、干渉力が働けば、その場所からずれることになる (Lloyd 1968)。

近代科学誕生以降、物理学に正常・異常や自然・不自然といった言葉は登場しなくなるが、アリストテレスの正常モデルを対応させることはできる。たとえばニュートンの第一法則によると、物体に力が働かなければ、その物体は静止するか等速運動をする。いわゆる慣性の法則である。力が働くか働かないかで自然な状態と不自然な状態を区別できるという点でアリストテレスの考えとは両立するが、何を自然ないし正常な状態とするか

についてはアリストテレスの考えと異なっている。アリストテレスの考えでは、物体が地球の中心に止まっているのが自然な状態である。一方、ニュートン力学では、静止だけでなく等速運動も自然な状態にあたる。もちろん、正常・異常や自然・不自然という表現はニュートン力学には登場しないが、それらの区別自体はつけられるのである。

では、生命現象に正常モデルは適用できるのだろうか。アリストテレスは生命現象についても自らの正常モデルをあてはめる。たとえば遺伝について考えると、親が一切干渉力を受けなければ、子は親に正確に似る。つまり、親子の違いは干渉力によって説明されることになる。干渉力が強すぎると奇形が生まれ、奇形は正常な遺伝パターンからの逸脱とされる。本質主義的な正常モデルでは、干渉力が作用せずに親子で一致している性質を本質とし、そのような性質を備えていることを自然あるいは正常な状態とみなすのである。アリストテレスの正常モデルは近代以降の物理学では採用こそされないが、対応させることは可能であった。しかしダーウィン以降、進化現象に関しては正常・異常という区別をあてはめることはできなくなった。集团的思考の枠組みでは、集団にばらつきがあることがむしろ正常であり、アリストテレスが奇形と呼んだものはもはや異常でも何でもない。また、正常モデルでいうところの正常は、集团的思考においては集団の平均値や中央値のような単なる統計的な代表値にすぎない。アリストテレスが奇形と呼んでいたものは、集团的思考の枠組みではある時点のける少数派を指しているだけで、そうした少数派は環境が変われば別の時点で多数派にもなりうるのである。

マイアはどこで間違っただろうか。彼は集团的思考を説明するとき、自らが本質主義と特徴づけた類型学的思考と対比させた。マイアによると、類型学の本質主義的思考は平均のようなタイプを実在すなわち本質とみなすが、個々の生物の違いは幻想にすぎないとする。しかしながら上で述べたように、本質主義者は個々の生物の違いが実在しないとは主張しな

い、本質主義は、マイアの主張とは異なり、タイプだけでなく個々の違いも実在することを許容する。つまり、本質のみが実在し、それ以外の性質は幻想であるという考えではないのである。本質以外の性質もきちんと実在し、そうした性質は本質からのずれとして理解される。マイアの本質主義の理解は間違っており、それゆえ、その対極をなすものとされた集团的思考の理解も誤解に基づくものになってしまったのである。

マイアによると、集团的思考は平均などの抽象物は実在せず、個体の唯一性や違いのみが実在するという考え方であった。だが、この解釈も間違っている。ソーバーによると、集团的思考とは変異を集団の性質とみなす考え方であり、集団を構成する諸個体の詳細は捨象される。ゴールトンの偉業は、誤差論を測定誤差の処理ではなく、集団の特性自体を扱うために援用した点にある。このことは、変異の分析法の開発、さらには進化論の理論的な基盤づくりへつながった。これについては次節で扱うことにしよう。

4 集团的思考の恩恵

集团的思考の出現は集団遺伝学の成立に大きく寄与した。それにもかかわらず、マイアは集団遺伝学の数理モデルでは自然選択を十分に理解できないと述べており、この批判は集団遺伝学の成果と齟齬をきたしているようにみえる。マイアが集団遺伝学を本質主義的とする理由は、集団遺伝学では生命現象を数学化するときに過度の単純化がなされ、生物の個体間に実在する性質の違いを捨象してしまうからである。確かに、生命現象を数学的に表現するときに単純化はおこなわれている。しかし、そうした単純化こそ 20 世紀初頭に激しく対立していたメンデル学派と生物測定学派との対立を調停させる鍵となり、集団遺伝学の成立へと向かわせた。そこで本節では、集团的思考がもたらした進化論への恩恵を明らかにすることにより、マイアの集団遺伝学批判について否定的に検討する。

生物測定学派は、ゴールトン以降の近代統計学を駆使して生物のさまざまな形質を分析し、20世紀初頭に失墜していたダーウィンの自然選択説を擁護した (Bowler 1988)。ゴールトンが例示したように、多くの人の身長を測定して身長と人数の分布を図示すれば正規分布となる。20代男性の身長を測定してみると、その結果はたとえば150 cmと170 cmだけに飛び飛びのかたちで集中するのではなく、連続的に分布する。どんな形質も数多く測定すれば正規分布になることを根拠に、生物測定学派は変異が連続的であると主張した。そして、身長などの形質の分布が世代間で変化していくのを、生物測定学派は自然選択によって説明しようとした。生物測定学派は分布の変化を自律的に説明するという意味で、集团的思考の枠組みに依拠している。

一方メンデル学派は、メンデルの遺伝法則をダーウィンの自然選択説に代わる進化学説として支持する陣営である。この学派は、メンデルにしたがって粒子的な遺伝物質を想定し、その遺伝物質はメンデルの法則にしたがって遺伝すると主張した。メンデル学派は、変異が離散的だとしてダーウィンの自然選択説および生物測定学派を批判する。メンデル学派が変異を離散的だとしたのは、メンデルの粒子的な遺伝の仕組みが離散的な変異を説明するのにうってつけだったからである。また、メンデルが実験に用いたエンドウは離散的な変異であったことにもよる。エンドウの色は黄か緑か、種子にはしわがあるかないかであり、エンドウの変異は離散的である。さらに、自然選択では変異を減少させることしかできず新奇の形質の生成を説明できないことも、メンデル学派が自然選択説を否定する理由とされた。このように、メンデル学派と生物測定学派は変異が連続的か離散的かをめぐり激しく対立したのである (Morrison 2002)。

生物測定学派とメンデル学派の対立を調停したのは、マイアが槍玉にあげたフィッシャーである。フィッシャーは1918年に生物測定学派の支持する自然選択説とメンデル学派による遺伝の仕組みを取りまとめる論文を

発表した (Fisher 1918). 統計学でおなじみの「分散 (variance)」や「分散分析 (analysis of variance)」は、フィッシャーがこの論文ではじめて導入したものである。分散とは簡単にいうと、集団における構成員の特徴のばらつき度合いを定量的に表したものであり、分散分析は、そのばらつきを生じさせる諸要因を分析してそれぞれの効果を調べる手法である。分散分析は、二つの独立した要因により生じた分散はそれぞれの要因だけから生じる分散を足し合わせたものと等しいという数学的特徴を利用したものであり、表現型の変異をもたらす要因の分析に用いられる。ゴールトンがかつて提案した変異の分析法をフィッシャーが洗練させたのである。

フィッシャーは表現型の分散の要因を遺伝子、遺伝子間の相互作用、環境の三つに分解し、その諸効果の関係を数学的に表現した。遺伝子の効果とは、一つの遺伝子の適応度が一つの表現型の存続に与えるものである。遺伝子間の相互作用には優性の効果、エピスタシス、多面発現がある。メンデルは一对の粒子的な遺伝因子と一つの表現型を対応させており、遺伝子の効果とはそうした表現型への単調な効果を指している。優性の効果とは、同じ遺伝子座における対立遺伝子の間の相互作用による効果である。どの遺伝子が表現型として現れるかは、同じ遺伝子座における対立遺伝子との関係によって決まる。一方エピスタシスは、ある遺伝子座における遺伝子が別の遺伝子座に存在する遺伝子の発現に与える影響のことである。優性の効果が同じ遺伝子座における遺伝子間の相互作用であるのに対し、エピスタシスは異なる遺伝子座における遺伝子間の相互作用である。また、多面発現は一つの遺伝子が二つ以上の形質の発現に関与することをいう。

フィッシャーは、上述したように表現型の分散の要因を遺伝子、遺伝子間の相互作用、環境の三つに分解した。そして、遺伝子間の相互作用と環境の効果は、いずれも集団のサイズが大きければいつも同じ正規分布となるため表現型の分散にはほとんど影響を及ぼさないと考え、どちらの効果

も無視できると論じた。フィッシャーはこのことを、兄弟間の身長について得られたデータをもとに自ら計算してみせた。それにより、表現型のばらつきの変化、すなわち自然選択による効果が、遺伝子の要因による効果だけを使って表されることを示したのである。(ibid.)。この成果をフィッシャーは「自然選択の基本定理 (fundamental theorem of natural selection)」と呼び、1930年出版の『自然選択の遺伝的理論』でその数学的導出を示した (Fisher 1930)。自然選択の基本定理は、メンデル学派の粒子的な遺伝子の分布に基づいて自然選択による表現型の連続的な分布の変化を表している。フィッシャーは、メンデル学派とダーウィニズムの生物測定学派が両立することを数学的に示してみせたのである (Provine 2001; Morrison 2000)。

マイアによる集団遺伝学批判の検討に移ろう。彼は集団遺伝学で生命現象を数学的に表現するときにみられる過度の単純化を批判した。実際、そうした単純化は集団遺伝学のモデル化に欠かせない。だがそうした単純化は、メンデル学派と生物測定学派を和解させ、集団遺伝学を確立する際に重要な役割を担った。生物測定学派では正規分布を用いた分析がおこなわれており、集団のサイズが大きいことが想定されている。それゆえ、非常に多くのメンデル的な遺伝物質が形質発現にかかわるというのは数学的処理があまりに煩雑になり、実験によってテストすることも難しいので、生物測定学者はメンデル的な遺伝物質を受け入れなかった。それに対してフィッシャーは、生物測定学派と同じく実際の生物集団のサイズが大きいことを想定したにもかかわらず、進化の一般的な規則性に注目することで、生物測定学派の敬遠した遺伝物質についての処理の煩雑さという難点を回避することができた (Morrison 2004)。フィッシャーが調停に成功したのはマイアの批判とは裏腹に、単純化して大集団を想定したからであり、それによって遺伝物質の詳細に立ち入ることなく生物集団についての一般的な特徴を浮き彫りにできたのである。しかも、実際にみられる変異

を遺伝による変異と環境による変異に区別しただけでなく、遺伝による変異をいくつかの成分に分解することも可能にした。個体間に実在する性質の細かな違いを捨象することになるかもしれないが、集団遺伝学は生物集団の重要な特徴を捉えることに成功したのである⁶。

生物測定学派もメンデル学派も集団の性質を特定し、集団間の変化の定式化に努めてきた。ゴールトンはやがてダーウィンの自然選択説を支持しなくなるが、変異を集団の性質とする考え方は生物測定学派、さらにはフィッシャーら集団遺伝学者に受け継がれることになる。マイアはフィッシャーら集団遺伝学者を本質主義者として批判したが、実情はその逆である。フィッシャーは生物測定学派とメンデル学派の対立を調停したときに分散の概念を導入しており、これはまさに彼が集团的思考を採用していたことを表している。フィッシャーは『自然選択の遺伝的原理』のなかで自然選択モデルを導出した後で次のように述べている。

自然選択の基本定理は熱力学の第二法則と非常によく似ていることに気づくだろう。どちらの理論も集団もしくは集合体の性質を扱うが、実のところ集団を構成する個々の対象とは関係がない。また、どちらも統計的な法則である。さらに、どちらの理論も測定可能な量の一定の増加が要請されている。一方は物理系のエントロピーの増加、他方は〔集団の増加率を表すマルサスパラメータ〕 m によって測定可能な生物集団の適応度の増加である (Fisher 1930, p. 39)。

フィッシャーは進化論が集団を扱う理論であることを正しく理解したうえで、進化論の数学化をおこなった。そのとき、個々の生物個体の詳細な情報を捨象することで、生物集団のしたがう法則を数学的に表現できた。フィッシャーの思考のなかに集团的思考という思考の枠組みがあったからこそ、生物測定学派とメンデル学派の対立が解消され、現代進化論の理論

的基盤がつくられたのである。

現在では、集团的思考の枠組みによってさまざまな進化現象が説明されている。チョウの擬態の頻度依存選択を例にあげてみよう。頻度依存選択とは、ある形質ないし遺伝子型の適応度が集団内におけるその形質ないし遺伝子型の頻度に依存する、自然選択の一例である。無毒のチョウは他の有毒種に擬態することがある。ある集団において擬態のチョウの頻度が低ければ、擬態という形質は捕食者のトリをだましやすいため適応度が高くなる。逆に、その集団において擬態のチョウの頻度が増えると、擬態は捕食者をだましにくくなり、適応度は低くなる。このように頻度依存選択では、頻度という集団の特性に依存して適応度が決まるのである。この現象を説明するには、個体の性質をいくら細かく観察してそれらの情報を積み上げたとしても、それでは不十分であり、頻度という集団レベルの性質が必要となる (Millstein 2006)。

また、遺伝的浮動の現象も集团的思考の枠組みで説明される。遺伝的浮動にはライト効果やハーゲドールン効果と呼ばれるものがある。ライト効果とは、生物集団がそれより小さな集団に分離することによって遺伝子頻度が変化する現象である⁷。生物集団は小集団に分離することがある。小集団では大集団よりも個体数が少なくなるので、遺伝的浮動の効果が大きくなる。そのため、集団全体でみると、小集団に分離する集団と分離しない集団では遺伝子頻度の変化の仕方が異なる。ハーゲドールン効果は、繁殖時に膨大な数の配偶子からわずかな数しか抽出されないため、世代間で遺伝子頻度が変化する現象である。遺伝的浮動も集団を構成する一つひとつの個体の変化にもとづいて説明されるのではなく、集団サイズという集団の性質を用いて説明される (Walsh, Lewens and Ariew 2002)。このように、集团的思考は進化論の考え方の枠組みとなっており、さまざまな成果を生み出している。

5 おわりに

本稿では、集团的思考という集団現象を捉えるための思考の枠組みについて、名付け親のマイアの解釈を足がかりに検討してきた。マイアは類型学的思考と対比させながら集团的思考を紹介した。彼によると、本質主義的な類型学的思考と集团的思考では平均や変異の理解が正反対になる。前者は集団における変異を幻想とし、平均などを実在する本質とみなす考え方である。それに対し後者の集团的思考では、実在するのは変異であり、平均のような抽象的対象は実在とみなされない。しかしながら、マイアの解釈は誤解に基づくものであった。ソーバーによると、変異を実在とみなすかどうかは本質主義的な考え方と集团的思考の相違点ではなく、どちらの枠組みでも変異は実在と認められる。両者の違いはむしろ、変異の説明の仕方にある。本質主義的なアリストテレスの正常モデルでは、親子の違いは干渉力によって説明される。親に干渉力が働かなければ親子間の性質は一致し、そうした遺伝パターンは正常とみなされる。もし親に干渉力が働いて親子間で性質のずれが生じてしまうと、その遺伝パターンは異常とされる。一方、集团的思考の枠組みでは、これとは異なる仕方で正常を理解する。集团的思考においては、正常モデルが意味するところの正常は集団における平均値や中央値のような単なる統計的な代表値にすぎない。集团的思考の枠組みでは、集団にばらつきがあることはむしろ正常であり、アリストテレスが奇形と呼んだものはもはや異常でも何でもない。奇形とみなされていたものは、集团的思考の枠組みではある一時点における少数派を指しているだけで、そうした少数派は環境が変わると多数派にもなりうるのである。

また、集团的思考の枠組みでは、変異を説明するのに個体の性質を積み上げるのではなく、変異は集団の性質とみなされ、集団自体のしたがう法則が用いられる。この考え方の出現により、進化論の理論的基盤が形成され、集団遺伝学が成立するに至った。いまでは、自然選択や遺伝的浮動な

どさまざまな進化現象がこの枠組みに基づいて説明される。だが集团的思考の恩恵はそれだけではない。集団を基礎にしたこの思考法は進化論の枠にとどまらず、近代統計学を介して多岐にわたる分野へ浸透していった。その近代統計学を生み出したのが、集团的思考の出現に大きく寄与したゴールトンやフィッシャーである。ゴールトンの考案した相関や回帰、フィッシャーの発明した分散や分散分析は統計学の基本概念となっている。統計学の手法は、生物学だけでなく、心理学、社会学、経済学、医学などさまざまな領域で活用されている。いまや、自然および社会のさまざまな集団現象を、集団の分布を基礎に捉えることは一般的である。統計に基づくこれまでの科学的成果を踏まえると、集团的思考という思考法はなくてはならないものとなった。

註

- ¹ 統計力学の基礎を築いたクラーク・マクスウェルとルートヴィッヒ・ボルツマンは、ダーウィンとほぼ同時期に集团的思考に似た考えを抱いていたとされるが、現代統計学に大きな影響を与えたのはダーウィンである (MacDonald 1984)。
- ² ウインターは、当時の集団遺伝学者であるフィッシャーやライトのモデルの前提を分析し、それらの前提にマイアの指摘する想定はなされていないことを示した。そして、「マイアの主張は(…)当時の理論の仮定に関する誤解に基づいている」(Winter 1997, p. 161)と結論づけている。
- ³ 統計学者で統計学史家でもあるステファン・スティグラーは、「スティグラーの名祖の法則 (Stigler's law of eponymy)」というおもしろい法則を提案している。この法則によると、どんな科学的発見も第一発見者の名はつかない。ガウス分布も例外ではなく、ガウス以前にド・モアブルやラプラスによってすでに発見されていた (Stigler 1980)。
- ⁴ この法則は残念ながら誤りである。遺伝の仕組みはその後、メンデル遺伝学、そして分子遺伝学によって解き明かされていった。
- ⁵ ガウス分布を最初に「正常 (ノーマル)」と呼んだのは、1873年のアメリカの哲学者チャールズ・サンダー・パースの論文である。1877年にはドイツの統計学者ヴィルヘルム・レキシス、そしてイギリスのゴールトンが同じように

「正常」と表現している。ガウス分布を正常な現象として考えることは、ほぼ同時期に異なる国で独立に始まった。ゴルトンはその時代の誰よりも「正常な分布」がいたるところに存在することを確信していた (Stigler 1999)。

⁶ 森元 (2008) は、進化のモデル構築において単純化がなされていても、進化モデルは実在を表すことができることを論じている。

⁷ ライト効果という名称は、フィッシャーがセウォール・ライトという生物学者の考えを批判するときにつけたものである。ライトはこの名称を好んでいなかったが⁸、彼の意思に反し、その名称は広まった。

参考文献

- Ariew, A. (2008) "Population Thinking", in M. Ruse(ed.), *Oxford Handbook of Philosophy of Biology*. Oxford University Press, 64-86.
- Bowler, P. J. (1974) "Darwin's Concepts of Variation", *Journal of the History of Medicine* **29**, 196-212.
- Bowler, P. J. (1984) *Evolution: The History of an Idea*. University of California Press. (鈴木善次ほか訳『進化思想の歴史』(上・下巻), 朝日選書, 1987)
- Bowler, P. J. (1988) *The Non-Darwinian Revolution: Reinterpreting a Historical Myth*. Johns Hopkins University Press.
- Fisher, R. A. (1918) "The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance", *Philosophical Transactions of the Royal Society of Edinburgh* **52**, 399-433.
- Fisher, R. (1930) *The Genetical Theory of Natural Selection*. Oxford University Press.
- Galton, F. (1869) *Hereditary Genius: An Inquiry into its Laws and Consequences*. Macmillan.
- Galton, F. (1908) *Memories of my life*. Methuen.
- Hacking, I. (1990) *The Taming of Chance*. Cambridge University Press. (石原英樹・重田園江訳『偶然を飼いならす』, 木鐸社, 1999)
- Lloyd, G. (1968) *Aristotle: The Growth and Structure of His Thought*. Cambridge University Press. (川田殖訳『アリストテレス—その思想の成長と構造—』, みすず書房, 1973)
- MacDonald, S. (1984) "'Population Thinking' in Victorian Science and Literature", *Mozaic* **17**, 35-51.
- Mayr, E. (1959a) "Where Are we?", Cold Spring Harbor Symposium on

- Quantitative Biology **24**, 409-40. Reprinted in E. Mayr (1976) *Evolution and the Diversity Of Life*. Harvard University Press, 309-10.
- Mayr, E. (1959b) "Typological versus Population Thinking", in B. J. Meggar (ed.) *Evolution and Anthropology: A Centennial Appraisal*. The Anthropological Society of Washington, 409-412. Reprinted in E. Mayr (1976) *Evolution and the Diversity of Life*. Harvard University Press, 26-29.
- Mayr, E. (1976) *Evolution and the Diversity of Life*. Harvard University Press.
- Mayr, E. (1982) *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*. Belknap Harvard.
- Mayr, E. (1997) *This is Biology: The Science of the Living World*. Harvard University Press.
- Millstein, R. (2006) "Natural Selection as a Population-Level Causal Process", *The British Journal for the Philosophy of Science* **57**, 627-53.
- 森元良太 (2007) 「進化論の還元不可能性」, 『科学哲学』 **40**, 15-27.
- 森元良太 (2008) 「遺伝的浮動はフィクションか」, *Nagoya Journal of Philosophy* **7**, 17-33.
- 森元良太 (2013) 「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」(博士論文), 慶應義塾大学.
- Morrison, M. (2000) *Unifying Scientific Theories: Physical Concepts and Mathematical Structures*. Cambridge University Press.
- Morrison, M. (2002) "Modelling Populations: Pearson and Fisher on Mendelism and Biometry", *British Journal for the Philosophy of Science* **53**, 39-68.
- Morrison, M. (2004) "Population Genetics and Population Thinking: Mathematics and the Role of the Individual", *Philosophy of Science* **71**, 1189-1200.
- 西脇与作 (2002) 『現代哲学入門』, 慶應義塾大学出版会.
- Provine, W. B. (2001) *The Origins of Theoretical Population Genetics*. 2nd edition. University of Chicago Press.
- Quetelet, A. (1835) *Sur l'Homme et le Développement de ses Facultés, ou Essai de Physique Sociale*. Bachelier.
- Smocovitis, V. (1996) *Unifying Biology: The Evolutionary Synthesis and Evolutionary Biology*. Princeton University Press.
- Sober, E. (1980) "Evolution, Population Thinking, and Essentialism", *Philosophy of Science* **47**, 350-83.
- Sober, E. (2000) *Philosophy of biology*. 2nd edition. Oxford University Press. (松本俊吉・網谷祐一・森元良太訳『進化論の射程—生物学の哲学入門』, 春秋

社, 2009)

Stigler, S. M. (1980) “Stigler’s law of eponymy”, *Transactions of the New York Academy of Sciences* **39**: 147–158.

Stigler, S. M. (1986) *The History of Statistics: The Measurement of Uncertainty before 1900*. Harvard University Press.

Stigler, S. M. (1999) *Statistics on the Table: The History of Statistical Concepts and Methods*. Harvard University Press.

Walsh, D., Lewens, T. and Ariew, A. (2002) “The Trials of Life: Natural Selection and Random Drift”, *Philosophy of Science* **69**, 452–73.

Winter, W. (1997) “The Beanbag Genetics Controversy: Towards a synthesis of opposing views of natural selection”, *Biology and Philosophy* **12**, 149–84.