

3 自然について

[自然の謎の解明]

この世界で私たちが最初に驚き、疑問をもつのは私たち自身の心の仕組みや働きについてではなく、私たちの周りで起こる出来事についてである。これは人の成長の場合だけでなく、人の歴史においても同じである。子供たちと同じように、古代の人々がまず驚いたのは自然の出来事であった。とりわけ天変地異への驚きは大きく、それが神話や宗教を生み出す原動力となってきた。だが、自然の謎の解明は神話や宗教によってではなく、科学によって行われた。その解明はまず物理的な自然に向けられ、次に生物の世界へと進んでいった。20世紀後半には物質と生命に関する基本的な事柄は謎ではなくなったと言われている。そして、現在では私たち自身についての謎、つまり、心の謎の解明が急ピッチで進んでいる。

この章では物質と生命に焦点を定め、物質や生命を考える際の基本的な概念とそこから得られる自然像について考察してみよう。形而上学や自然哲学、自然史と呼ばれた領域が自然科学に移行し、それに伴って自然世界についての多くの古い常識や伝統が打ち破られてきた。その過程で自然を考える際の基本的な概念はどのように扱われてきたのか。時間や空間、決定論、生命概念はどのような経緯を経てきたのか。そして、何より現在私たちはそのような基本概念をどのように捉えているのか。まず、アリストテレスの伝統がどのようなものか述べ、次にそれを破壊したニュートンの伝統を考えてみよう。さらに古典物理学の伝統が相対性理論によって壊され、確率革命を通じて進化論、量子力学が新しい自然観を確立する過程を見つめ、そこに登場する問題を考えてみよう。

伝統には現在まで守られて来たものも、捨て去られたものもある。伝統は現在の眼で見てこそ伝統であることが認識できる。これは自然観についても同じである。この章では壊された伝統だけでなく、守り育てられてきた伝統も述べられている。私たちは現在の眼でこれら伝統の評価・選別をしてみよう。

1 アリストテレスの自然

1.1 アリストテレスの4原因

[世界には4つの原因がある]

アリストテレスは哲学者である以上に経験科学者であった。彼の研究成果は17世紀まで物理的な世界観を支配し、19世紀まで生物的世界観を牛耳ってきた。それほどまでにアリストテレスの伝統は強大であり、また説得力ももっていた。そこで、長い伝統を育んできたアリストテレスの自然についての考えから見てみよう。

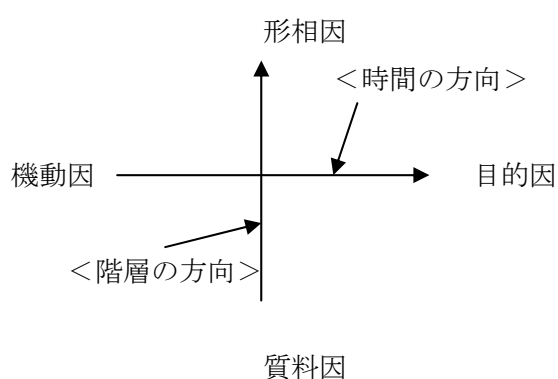
アリストテレスは形相（本質）が対象の外にはなく、具体的な個体（個物）の中にあると考えた。プラトン（Plato, 427BC-347BC）のアイデアが超越的に存在しているのと違って、形相は個体に内在し、すべての個体は形相と質料から合成されている。アリストテレスは存在するものの変化を説明するために可能態と現実態という区別を考えた。そして、彼は可能態と現実態間の変化を4つの原因によって説明しようとした。アリストテレスは自然に4原因 - 形相因、質量因、機動因（起動因）、目的因 - を認め、それらを使って事物の現実あるいは可能な状態とその間の変化を因果的に説明しようとした。それぞれの原因がどのようなものか家を例に考えてみよう。

質料因は家を造る材料、石、木等である。形相因は家を造る設計者の心の中にあり、質料によって具体化されるデザインである。機動因は家を造る主体、つまり、建築家である。目的因は家を造る目的である。アリストテレスはこれらの異なる役割を下の表のように考えている。

形相因	物質的なものを現実化する、決定する、特定するものである。
質料因	それなしには存在や生成がない、受動的な可能態であるものである。
機動因	その作用によって結果を生み出す。それは結果を可能な状態から現実の状態に変える。
目的因	そのために結果や成果がつけられるものである。

(問) 身の周りの事柄を理解・説明するためにアリストテレスの4原因が使い分けられ、彼の考えが今でも生きていることを確かめなさい。

アリストテレスの4原因は事物の構成と変化の両方に関わっており、変化の時間軸に二つの原因(機動因と目的因)、構成の階層軸に二つの原因(形相因と質料因)を置いたと考えられ、それぞれ時間的因果性、存在論的因果性と呼ばれている。その後、いずれの軸も一方向だけが取り上げられ、時間軸からは目的因が、階層軸からは形相因が排除されて行った。それが現在の因果的、還元的説明のもとになっている。階層軸は科学の研究の仕方もあるって個別科学の研究領域に分けられ、分業化が進み、階層的に分割された各領域では機動因だけがもっぱら研究対象として取り上げられることになる。



[4原因のその後の運命]

4原因すべてを使わずに、少ない原理、原則によって現象を説明しようとする傾向が次第に強くなっていく。自然法則によって運動を説明しようとした物理学の最初の総決算はニュートンの古典力学であった。さらに、物理的な運動だけでなく、生命現象に対しても自然選択だけで十分説明可能と考え、自然選択に基づく進化論を展開したのがダーウィンであった。力学や進化論では機動因に対応する自然法則が因果的な説明に不可欠のものとなっている。そして、機動因以外の原因は自然の説明にとって不要のものというだけでなく、誤ったものという烙印を押されることになる。だから、物理学の教科書に出てくる物体が目的をもっている、生物種が変化しない性

質しかもたない、つまり、生物は不変だ、といった考えは現在の私たちにはない。

機動因に対応する自然法則によって因果性が理解できるという物理学に対して、因果性の認識について疑いをもったのがヒュームだった（次章参照）。因果性についてのヒュームの徹底した懐疑論は因果関係の認識を心理的な恒常的連結に過ぎないとしたが、これを救おうとしたのがカントであった。だが、彼の試みは因果性をカテゴリーという合理的思考の領域に追いやり、やはり、自然の性質そのものであるとは見なさなかった。

上のような説明は私たちの行為に関して成り立つだろうか。行為の説明も同じように法則を使って行われなければならないというのが通常考えであり、信念・欲求を原因にして、その結果として行為を説明するという風に考えられている。しかし、心的な状態である信念・欲求がどのように身体的な変化である行為を引き起こすかは誰にもわかっていない。また、心身の間の法則もその形式すらわかっていない。その理由の一つは上述の時間軸と階層軸の違いにありそうである。

心的状態（信念、欲求）→ 脳状態 ⇒ 行為
 →：階層間の還元関係、⇒：時間的な因果関係

行為の因果的な説明は時間軸上でなされるはずであるが、行為の因果関係の一部である心身の関係は階層軸上の関係であり、行為は二つの軸にまたがった因果関係になっている。だが、両方の軸にまたがる因果関係を正確に表現し、理解することに私たちは依然として成功していない。階層軸上の関係は因果関係ではなく、還元関係として特徴づけられており、そのような枠組自体が心的因果（mental causation）を考えにくい、厄介な問題にしているのである。この厄介さはどのようなものなのか。アリストテレスの4原因は分解され、因果関係と還元関係の二つにまとめられ、この二つの関係は相互に独立のものに見なされてきた。例えば、物質と生命は異なるレベルにあり、物質にはない「生きる」という性質は創発的な（emergent）性質であり、還元はできないという主張をよく耳にするだろう。物質のどこを探しても「生きる」ことは見出せないように見える。これが生命ではなく心であれば、なおさら物質に還元できない性質が多くあると想像できる。そのような性質をもつ心の状態が下方因果的に脳の状態に働きかけるのが信念や欲求が原因として働くことであると考えられてきた。しかし、心の物質への働きかけ、作用は異なる階層間での因果関係であり、そのような因果関係は私たちが科学革命以後捨て去ってきたものである。これが厄介さの理由である。この厄介な心的因果については5章と5.5章で考えよう。

1.2 アリストテレスの正常モデル

[性についての伝統]

アリストテレスは生殖を他の動物と比較することによって研究した最初の人であり、彼の考えによれば、精子が胎児を産み出す種をもち、月経の血がそれを成長させる土壌となる。アリストテレスは、胎児を形成し、成長させるのは霊魂であり、男はその形相因、機動因であり、女はその質料因であると考えた。彼の考えはトマス・アキナスに引き継がれ、カトリック神学の基盤となる。人間の誕生はまず植物的、次に動物的、最後に人間的の順で起こる。この考えから初期の教会では嬰兒殺しより、植物的段階の墮胎に対する倫理的な反対の方が少なかった。また、精子は

生命の本質であるので、それを浪費することは重大な罪とみなされた。イスラム教では女の精子も生殖において血や肉を造る素になると考えられ、男の精子だけでは生命はできないので、男の精子の浪費は問題ではないとされた。こうして、マスターベーションに対してキリスト教とイスラム教で異なる態度が取られることになった。

(問) なぜ多くの生物には性があり、オスとメスの性比は通常 1:1 なのだろうか。性比について性染色体を使って性比が 1:1 であることを説明しなさい。また、関心のある人はフィッシャーの性比 (sex ratio) のモデルを調べ、そのモデルによる説明と比較してみなさい。

性やジェンダーの議論に限らず、人間の心理や行動を語る場合、「正常」、「異常」という言葉が多用される。「異常性愛」という言葉は正常な性愛があって、そこからのズレと考えられている。「正常」や「異常」には事の「善し悪し」に似た、価値判断が含まれているように見える。ここには規範にかなっていれば正常、もとれば異常という判断が含まれているように見える。そのような判断が含まれていれば、「正常」や「異常」を含む考察や研究は価値判断を含むものになってしまう。類似の例は「健康」と「病気」である。このような理解はどこから生まれてきたのだろうか。

(問) 「正常」と「異常」について自分が今までどのように区別していたか要約しなさい。

[科学的知識と正常モデル]

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いうのがアリストテレスの正常モデルの考えである。¹アリストテレスの物理学は目的論 (teleology) に満ちている。彼は星を有機体に劣らず、目的志向型のシステムであると信じていた。重い物体はそれがもつ内的な目的によって地球の中心へと引きつけられる。重い物体はこれを自らの機能としてもっている。どんな対象にもその自然状態 (natural state) があり、その対象の不自然な状態から区別される。対象が不自然な状態にあるのは外部からの干渉が働いた結果である。自然な状態にある対象に働いて、その対象を不自然な状態にする干渉力は、自然なものを偏向させる原因である。したがって、自然の中に見られる変異 (variation) は自然な状態からの偏向として説明される。干渉力がなければ、重い対象、軽い対象はみなそれぞれの本래の場所に存在することになる。ニュートン以後の物理学には「自然な」、「不自然な」という語は登場しなくなるが、アリストテレスの区別はそれらの物理学においても可能である。対象に働く力がなければ、当然、干渉力もない。物理学での自然状態は力の働かない状態であり、慣性の法則がこれを表現している。また、目的と機能はアリストテレスでは結びついていたが、ニュートン以後の物理学では切り離されている。

このモデルは物理的なものだけではなく生物に対しても適用される。人間の正常な姿が人間の本質を具体化したものであり、その本質から外れたものが正常でないものである。それら異常なものはたとえ出現しても選択され、支配的になることはない。このモデルは天体の構造や生命現象を大変うまく捉えている。模範になる姿があって、それに外れるものはたとえ存在しても、あく

¹ 正常モデルと変異モデルの区別は E. Sober, *The Nature of Selection*, MIT Press, 1984 に負う。

まで例外に過ぎない。現在でも理科室にある動植物の標本はその種を確認するための模範となる標本（模式標本）である。

[ダーウィンの変異モデル]

アリストテレスの正常モデルと根本的に異なるのがダーウィン (Charles Darwin, 1809-1882) の変異モデルである。彼は生物集団の中には常に変異が存在し、それが個体差として選択のふるいにかけて、生存と生殖に関して有利なものがその集団の中で多数を占めるようになっていくという、いわゆる自然選択説 (theory of natural selection) によって生物の進化を説明した。この説明の出発点は変異の存在である。この変異、個体差には正常も異常もない。集団内の個体に模範となる正常なものも異常なものもない。あるのは個体間の差だけである。そして、この差が選択の原動力になっている。したがって、正常、異常とはある時点の集団の多数派、少数派に過ぎなく、本質的なものではない。

(問) ダーウィンの「自然選択、人為選択」と統計学の「サンプリング」を比較し、共通点を述べなさい。また、サンプリングエラーと遺伝的浮動 (genetic drift) を比較し、共通点を探してみなさい。特に、バイアスのあるサンプリングと選択を比較してみてください。

(問) 「自然選択」という概念は擬人的でしょうか。「動く」と「選ぶ」という表現を手掛かりに考えてみなさい。

(問) 自然選択と性選択 (sexual selection) は何が異なるのでしょうか。

[二つのモデルの違いと価値判断]

このように見てくるとアリストテレスとニュートン、ダーウィンの違いは歴然としている。では、私たちが現象を考える際、いずれのモデルで考えているだろうか。多分、物理現象、生命現象に関してその原理的な部分ではニュートン、ダーウィン風に、私たち自身の身体的特徴、行動に関してはアリストテレス風に考えているだろう。異常な行動は大抵の場合悪い、してはならない行動とさえ考えられている。このように述べただけでも、そのような分析が価値判断を含むかどうか、価値判断から中立かどうかといったステレオタイプの問題ではないことが明らかだろう。

(問) 宇宙の仕組み、環境問題、友人関係を考える場合、いずれのモデルを使って考えてきたか振り返ってみよう。また、「基準」と「規準」の違いは何だろうか。

アリストテレスのモデルが (かつて考えられていたように) 正しい科学的なモデルであれば、「正常」、「異常」は優れて科学的な概念であり、それら概念を正しく使っての判断は正しい科学的な判断である。一方、ダーウィンのモデルが正しい科学的なモデルであれば、「正常」、「異常」は科学的に誤った概念であり、それら概念を使っての判断は科学的に誤った判断ということになる。この表現のどこにも価値判断など入っていない。問題は「正常」、「異常」を最初から価値判断が入っていると思いつくことである。確かに、より複雑な人間の行動に関しては科学的でない基準や約定が関与しており、そこから価値判断を含んだ「正常」や「異常」が生まれ、伝統をつくってきた。しかし、それら基準や約定は科学的な知見に依存している。その科学的な知見が正

しいかどうかを判定するのはいずれのモデルを選ぶかという問題であり、価値判断とは独立した事柄である。

(問) 奇(畸)形という概念が科学的か否か述べなさい。また、高等生物、下等生物という表現はどんな基準に基づいていたのでしょうか。

[物理学での正常、異常]

まず、正常や異常の区別のない物理学でのモデル、それも簡単な古典力学のモデルを考えてみよう。そもそもなぜ力学モデルには正常や異常の区別がないのだろうか。この問いに対して、異常なものは力学法則に違反し、力学法則は普遍的であるから、異常なものは存在し得ないというのが普通の答えであろう。力学法則の普遍性が正常、異常の区別の存在を否定するのである。この説明は一見説得力があるように見える。しかし、二つ以上の異なる自然法則があり、境界条件等の違いによってその適用範囲が異なるなら、一方の法則に従うものを正常、他方の法則に従うものを異常と呼んではいけないのだろうか。粒子と波は異なる法則に従う。粒子は波の異常な形態なのか、あるいは波は粒子の異常な形態なのか。この問いに対する常識的な答えは、対象に関する多元論である。波と粒子を異なる対象として共に認めるならば、波は波の法則に、粒子は粒子の法則に従い、正常、異常の区別は「異なる対象には異なる法則を」という多元論のモットーに従って回避されることになる。そして、同一の存在論的なカテゴリーの中では正常、異常がないことも保たれる。粒子と波が異なる法則を要求しても、それらは二元論という棲み分けによって両立する。粒子は波と異なるが、粒子の中では正常、異常の区別はなく、これは波についても然りである。

多元論の導入は物理学では普通のことのように見えるが、これが決して十分な解決でないことは物理学自身の統一理論(unified theory)への試みとその端的な証拠となっている。この理論は異なる力を統一して普遍的な説明を求めようとしている。物理現象に対する統一的な説明は物理法則の普遍的な適用によってなされ、その適用は対象の一元論を要求するのである。つまり、「異なる対象には異なる法則を」ではなく、「どんな対象にも同じ法則を」が求められている。

<現在の物理学の多元論的棲み分け>

量子力学	原子とその内部に関する物理学、物質の基本理論
古典物理学	私たちが経験できる領域に関する物理学
特殊相対性理論	高速度に関する物理学、時空の理論
一般相対性理論	強い重力場や宇宙スケールの現象についての理論、時空の理論

では、物理法則に関して同じカテゴリー内で正常、異常の区別の可能性が考えられないのはどのような理由からなのか。同じ物理量の組について二つ以上の理論がつくられたら、一つだけが生き残るか、あるいは総合されて一つの理論になり、その結果、理論の主張は一つの自然法則にまとめられ、同じ種類の対象について二つ以上の異なる内容の法則が成立することはないからである。これは正常、異常の区別が存在しないことの極めて強い理由である。原子は正常と異常の

区別ができるか。原子は物理量の違い以外は同じであり、物理学では物理量以外の性質は不問に付されている。物理量は変化し、原子を根本的に区別するものではないと考えられている。したがって、物理量を除いた原子は基本的に皆正常である。その理由は皆同一であるからである。

(問) 古典力学、相対性理論、量子力学は互いに両立しない理論であり、それゆえいずれか二つが共に真になる領域はありませんが、それぞれが正しい物理学の理論として認められているのはどのような理由からでしょうか。三つの理論が適用されている領域がどのような領域かをヒントに考えなさい。

[マクロな対象の正常、異常]

では、物理学以外の場合はどうか。化合物、細胞、生物個体、生物種と階層的に考えていくと、次第に正常とそれからのずれが説明において必要になってくる。そして、その典型が生物種であり、生物種は一定範囲内の性質の束を共有しているにもかかわらず、種内の個体は皆互いに僅かに異なっている。極端な場合が私たち人間の個人である。例えば、水の分子をみな同じと見なすことに不自然さはないが、人間を含めた生物個体の場合、種内の個体差は歴然と存在し、それを無視することは重大な影響を生む。むしろ、個体差こそが私たちの個体概念の基礎となっている。実際、各個人は他の個人と異なることによってその存在を保っている。これは原子や分子という存在と生物個体や個人が極めて異なった存在であることを示している。原子や分子は文字通りの意味でユニークな個体ではない。それらはタイプの一例外以外の何ものでもなく、酸素原子はタイプ「酸素」の具体例という特徴しかもっていない。部屋に充満する酸素原子はどれも同じ原子であるが、その部屋にいるハエや人間の各個体は皆異なっている。だから、生物個体や個人について正常、異常を考えることに何の不自然さもないのである。皆異なっており、その異なりの分布の中の一定の範囲にあるものが正常、他は異常と判定できるからである。同一の遺伝子をもつ双生児であっても、私たちは彼らを異なる人間と見る。実際、一卵性双生児であっても異なる特徴や性質をもっているし、時には一卵性双生児の一方だけが異常とされる場合すらある。

(問) 原子と生物個体の違いをそれぞれの「壊れにくさ」から説明しなさい。また、それをヒントに原子から個人までの個体に対する理解や説明の仕方の違いを挙げてみなさい。

すると、生物学の法則はあったとすれば、正常なものについての法則なのか、それとも正常、異常の両方についての法則なのか、あるいは、正常なものについての法則と異常なものについての法則が別々に存在するのだろうか。確かに、異常なものを生み出す一定の原因はよく口にされる。アリストテレスの答えは物理学や生物学の法則は正常なものについての法則であるというものである。異常なもの、異常な現象は存在するが、それらは干渉力による例外に過ぎず、最後には排除され、本来的な存在の姿が回復されるのである。アリストテレスの正常モデルは正常な個体に関するモデルであり、異常なものは例外に過ぎない。

より普遍的な法則を見つけるという考えは上のアリストテレス的な見方から自然に出てくる。例外のある法則は一般化され、例外も説明できるよう求められる。その際、例外を生み出す仕組みや原因より、例外をも含むより包括的な枠組や手法が優先される。選択は正常性が優先権をもつ限り消極的な役割しか演じることができない。その役割はエラーの排除である。エラーの排除そ

のものはモデルでは表現されない。つまり、選択のモデルはなく、選択は正常モデルを補助するものとして、モデルの外に置かれている。

ガリレオ (Galileo)、デカルト (Descartes)、ニュートンらはアリストテレスの正常モデルの見方を踏襲したが、彼らにとってアリストテレスの物理学は原理的に誤ったものであり、反アリストテレス的な、正しい物理学の構築が彼らの目標であった。しかし、アリストテレスの生物学はこれとは違った状況にあった。確かに、新プラトン主義的に変容されたアリストテレスの生物学はラマルク (Lamarck)、ジョフロワ (Geoffroy)、ダーウィンらにとって克服されるべき誤った生物学であった。だが、これは変容される前の、本来のアリストテレスの生物学を考えるなら事情は全く異なっている。むしろ、キュビエ (Cuvier)、フォン・ベアー (von Baer)、オーウェン (Owen) らは本来のアリストテレスの生物学がフランス革命後も持続されるべきものと考えていた。実際、新古典主義と呼ばれる彼らの生物学は本来のアリストテレスの生物学に従い、それをより精緻にするものでこそあれ、反対するものではなかった。

(補足) **Motion mountain**

Physics, *the science of motion*, the description of *all* observed motion with high precision can be summarized in the following six statements.

- 1 In nature, motion takes place in three dimensions of space and is described by *the least action principle*. Action is a physical quantity that describes how much change occurs in a process. The least action principle states: *motion minimizes change*. Among others, the least change principle implies that motion is predictable, that energy is conserved and that growth and evolution are natural processes, as is observed.
- 2 In nature, there is an invariant maximum energy speed, the speed of light c . This invariant maximum implies *special relativity*. Among others, it implies that mass and energy are equivalent, as is observed.
- 3 In nature, there is an invariant highest momentum flow, the Planck force $c^4/4G$. This invariant maximum implies *general relativity*, as we will recall below. Among others, from millennium physics to unification general relativity implies that things fall and that empty space curves and moves, as is observed.
- 4 The evolution of the universe is described by the cosmological constant Λ . It determines the largest distance and the largest age that can presently be observed.
- 5 In nature, there is a non-zero, invariant smallest change, the quantum of action \hbar . This invariant value implies *quantum theory*. Among others, it explains what life and death are, why they exist and how we enjoy the world.
- 6 In nature, matter and radiation consist of quantum particles. Matter consists of *fermions*: six quarks, three charged leptons, three neutrinos and their antiparticles. Radiation consists of *bosons*: the photon, three intermediate weak vector bosons and eight gluons. Fermions and bosons move and can transform into each other. The transformations are described by the electromagnetic interaction, the weak nuclear interaction and the strong nuclear interaction. Together with the masses, quantum numbers, mixing angles and couplings, these transformation rules form the so-called *standard model of particle physics*. Among others, the standard model explains how lightning forms, why colours vary, and how the atoms in our bodies came to be.