

抽象化される因果概念の先に

藤田 翔

1 因果を説明すること

「[re]やどこにも無い場所で
ねえ君は君のままできてね 私は私のままで立っているよ
いつまでも君できて欲しい

当時、音楽業界で最盛期を誇っていた浜崎あゆみの二〇〇〇年に発売された17thシングル、「surreal」のサビの一節である。この「どこにも無い場所」という表現は、文学的に極めて興味深い。この歌詞の中では、私が立っている場所が「どこにも無い」と形容されており、一種の自己矛盾を抱えている。本来「場所」とは空間的な情報そのものであり、必ずどこかに位置付けられている。どこにも無いのであれば、それはもはや場所ですらないのだ。この「私が立っている場所」とは、世界中のどこにも位置付けられないような、ま

さに現実 (real) を越えた (sur) 超越論的領域なのである。

もちろんこれは文学的な表現に過ぎないかもしれないが、哲学のフィールドにおいてもこの「私」のような超越論的領域内の存在者の意義は長きに渡って議論されてきた。いわゆる普遍者と呼ばれる存在者を巡る議論であり、普遍者は抽象的な存在者の一種とされている。よく例として用いられるのは、精神や数学の対象、性質といつたものであり、逆に容易に空間に位置付けられる個々の実体 (substance) と区別されている。確かに目の前の机や椅子が存在していることと主張することと、感情や数、そして色といった抽象的な概念が存在していると主張することの間にはかなりのギャップがあるように感じられるだろう。「surreal」に登場する「私」や「君」は言わば、個々の物理的な人間を指す実体ではなく、移り変わりゆく自己を越えたまさに普遍的な超越的自己を表現しているのである。

位置付けられる実体とそれが不可能な存在者との違いの一つに、

[Article]
Fujita Sho
The Worldview Obtained by
Abstracting the Concept of Causality
(Received 7 February 2024)

A Noon of Liberal Arts, No. 12, 2024

因果概念の有無が取り上げられている。すなわち因果的に活性であるのが実体で、不活性なのが普遍者であり、両者の違いが具体的な存在者と抽象的な存在者を二分しているとも考えられる。例えば前者を物理的な存在で、後者を数学的な存在だと捉えるならば、現象を説明するために用いる数などは、あくまで物理的な現象に絡む因果とは無関係の、外在的な説明要因という扱いになるのである。一方で、電子などの物理的な存在の指定は、内在的な説明によるものであり、電子装置との相互作用などを通して、それらは因果に組み込まれているというわけである。因果というものは、世界の具体的に位置付けられる実体を示すには極めて重要かつ不可欠な概念なのだ。まずはこの因果に関して詳しく考察していきたい。

自然や物理世界を理解することは、そこで生じている因果のメカニズムを掴むことだと言っても過言ではないだろう。我々がある対象を認知可能かどうか考える根拠として、ある程度は自由に動かせるといったような因果関係の有無を持ち出すことは自然であろう。我々の生きる世界はまさに因果の連続である。私が今、ここにいるのは過去に父母が出会ったからであり、また彼らがいたということは、遙か昔にその祖先達がいたことに起因している。物事結果)には必ず何らかの理由(原因)があり、過去の事象は現在の事象を引き起こし、さらに現在の事象は未来へと永続的に繋がっていく。全ての事象は、この世界の歴史を通して全体の因果体系の網の目のような構造を形成しており、それぞれの事象が過去の何らかの原因によって起こった結果であると同時に、未来の何らかの事象を

引き起こす原因ともなっているのだ。

率直に考えれば、原因とは結果の存在に対する必要条件であろうか。しかしこの一見あり触れたように見える因果的構造の哲学的な分析は実に多義的であり、かつ様々な観点で物議を醸してきた。例えばかつてデイヴィッド・ヒューム(David Hume)は、二つの対象(Object)に関して、一方が存在しなければ、他方が存在し得ないという場合に、この元になる対象を原因と定義した。これは確かに父が存在しなければ、子供もさらにその先の子孫も存在し得ないという直観的な因果関係を捉えているように見える。原因を排除すれば、結果も変わるという認識と確かに合致している。

しかしこの定義において、我々が日常的に感じる因果関係の全てを説明できているわけではない。この因果を事象の間の関係に置き換えて、例えば多方面に恨みを買っている政治家の死という事象を考えてみる。政治家は、恨みを買った一人の暗殺者に、ある日外出している最中にピストルで射殺されたという。この場合、政治家の死という事象の原因は、暗殺者のピストルの発砲という事象、あるいはこの暗殺者本人やピストルという対象であり、もしこの暗殺者やピストルが無ければ、政治家の死という事象は避けられたという具合になるだろうか……しかし、この政治家は多くの人間に恨みを買っているために、仮にこの実行犯が事を起こさなくとも、別の暗殺者が、同じ日に同じ場所です少し遅いタイミングで、別の角度から別のピストルで政治家を狙っていた可能性も十分にある。結局のところ実際に政治家の死を引き起こした特定の暗殺者やピストルを

除いたところで、別の暗殺者の凶弾に倒れるだけだったとすれば、政治家の死という結果は到底避けられるものではなかったのだ。こういった状況の場合に、暗殺の実行犯やピストルだけではヒュームの定義した意味での原因を満たさないのだ。

ここで、様相的な観点も含めて二つの事象の間にどのような関係があれば、それらは因果関係と呼べるのかという形而上学的な考察に纏わる多くの問題点が浮かび上がる。様相とは言わば、実際に起こった出来事だけでなく、潜在的な可能性も含めたあらゆる可能世界の事象を表した表現である。デイヴィッド・ルイス(David Lewis)は、(二つの世界で同時には起こり得ないという意味で)相反する反事実的な事象の集まりを族(Family)と呼び、異なる族同士に因果関係と、さらにそれら族の間に因果的な依存性(Dependence)を見出した。^{★3}先程の例においては、現実世界で政治家の死を引き起こしたのは、確かに実行犯とそれが所持していたピストルであろうが、それはたまたまこの世界での成り行きだっただけである。他の可能世界では別の実行犯や別の武器が政治家の死やそれに準ずる被害(大怪我など?)を引き起こしているということで、いくつかの暗殺要員と政治家が被害要員をそれぞれの族と考えることができる。政治家の死を含んだ害の原因は、潜在的な要員を全て含んだ族ということである。つまりは物事の原因とは、ある事象を引き起こし、影響を与え得る確率・統計的な概念にまで深く及んでいるという^{★4}ことである。

そしてことさらに、科学の文脈においてもこの潜在性を含んだ因

果概念とやらは大変重要である。その一つに科学に登場する法則(Law)に関する扱いがある。様々な経験的事実や自然現象に関して、法則は科学的説明としての因果概念の役割も果たしており、科学哲学のトピックとして取り上げられることも多い。科学が指定する理論の対象に関しては因果的な操作や介入の有無がその実在と大きく関わっている。後に詳しく見ていきたいが、特に理論の抽象性が増せばそれだけ、因果が経験性を裏付ける重要なファクターとして重視されるのだ。

一方で、ヒューム自身も述べていることにはなるが、この因果はあくまで人が何かを認識するためのツールでしかなく、因果そのものが世界に実在しているわけではないという極端な経験主義的な見方もある。我々が普段感じている事象や対象間の因果関係は、物事が見出すのには、単なる我々の心の習慣に他ならないという、帰納的方法論への懐疑でもある。^{★5}例えば衝突や分裂といったように、常識的には何らかの因果関係にありそうな物体同士の運動を論じる物理法則にしても、突き詰めれば、それが必ず、言い換えるならば全ての可能世界において成立する保証はないということである。それがあると思うのは、世界が何らかの法則に支配されているという一種の刷り込まれた前提に縛られているからということである。これはすなわち、今日まで成立していることは、明日も成立するはずだという「自然の斉一性」を、人間が無意識に心の中で認めてしまっているという、一般的な推論そのものへの反発である。この経験主

義を徹底すれば、世界には因果だけでなく、科学で指定されている対象、そしてそれらの間に成り立つとされる理論的法則など始めから存在せずに、ただ我々の感覚器官に直接入ってくる情報だけが頼りだということになる。

科学法則が、因果においていかなる事例においてもある種の前提条件となつてゐることは確かである。このことは科学哲学を持ち出すまでもなく、先程のピストルの例からも明らかであろう。暗殺者のピストルを政治家の死の原因の対象の一つと認めたところで、この因果関係を認めるためにはまだまだ前提が必要である。ピストルから放たれた銃弾は、確かに物理法則に従うがゆえに政治家の胸に命中し、その後病院に運び込まれた政治家が心肺停止に陥るのは、生物学的、そして医学的な過程によるものとなつてゐる。これらは全て現状の科学理論に依拠しており、科学法則はあらゆる因果を成立させるための土台となつてゐるだろうと思われる。

我々が因果と呼んでゐる概念自体が本当に存在するのかを議論し出すと、上記の対象や法則も巻き込んでどんどん深みに嵌まつていくだろうが、少なくとも因果の必要条件を現代の科学的知識を基に与えてやることは可能である。つまりは因果の存在を擁護するのではなく、逆にいかなる可能世界でも因果関係にはなり得ない事象同士の確認から入るといふスタンスである。そのために物理学に則つた、相対性理論に従う物理法則による光の到達領域の説明に移ろう。ここでは、事象とは対象に起こつてゐる具体的な出来事というよりは、それが起こつてゐる各々の時空点を指し、そこでの情報が伝わ

る領域を、光を基準に示すことにする。

ここで述べてゐる事象とは、時間と空間をセットとした時空座標系の座標点で与えることができる。図1のように、ミンコフスキー時空のグラフにおいては、横軸に一次元空間を表す空間座標 x 、縦軸に時間を表す時間座標 t を用いて構築された二次元の時空座標系が設定されている。この二次元世界では、時間座標値 t と空間座標値 x のペアで全ての事象を座標点 (t, x) としてラベリングできるのである。

相対性理論では、光は現在確認されているあらゆる物理的な存在の中で最も速く動き、特に特殊相対性理論においてはあらゆる方向に同じ速さで伝搬する（光速度一定の法則）。光の有限の速さ、すなわち光速 c は 3×10^{10} m と与えられ、これは地球七周分の距離を一秒間に伝搬することを意味している。日常的なスピード感覚とはかけ離れた大きな値ではあるものの、太陽系を越えて、銀河や銀河団を扱う宇宙規模の系の話となると、まだまだ小さな値と言える。ミンコフスキー時空上のある時空点 (t_0, x_0) で発せられた光は、時間座標 t の関数として、空間の全方向、つまりは一次元空間においては x 座標の正負の両側の向きに $x = \pm c(t - t_0) + x_0$ を満たすように直線的に広がつていく。さらにその時空点 (t_0, x_0) で受け取つた光は、過去の (t_0, x_0) ある時空点で発せられた光であるために、この二直線はその点で受け取る光の軌道をも含んでいる。光は最も速い信号であるために、時空点 (t_0, x_0) を交差するこの二直線こそが、その時空点での情報が伝搬する領域とそうでない領域を分ける境界線となつてい

るのである。この光の軌道は、図1のようにミンコフスキー時空上の光円錐の側面として表されるのである。

時空点 (t_0, x_0) にとつて、光円錐の内側の領域は時間的 (time like) 領域と呼ばれ、光の到達範囲内という意味で、この中では時空点同士で何らかのやり取りをすることが可能である。基本的にこれまで述べてきた因果の様相な話は全てこの時間的領域内での事象間に限られる。例えば暗殺者のピストルが放つ弾丸のスピードは、当然ながら光の速さよりは十分遅く、暗殺者がピストルを放った事象を (t_0, x_0) とおけば、政治家が胸に弾丸を受けた事象 (t_1, x_1) は必ず未来の光円錐の内部に含まれる (図1)。ゆえにこれらの事象間には物理的に因果関係が成立すると言えるのだ。さらに、その後政治家が病院に運ばれてから、心肺停止に陥るまでのあらゆる過程は全て、光速以下の出来事の連続であり、同じくこの時間的領域内に含まれる (図1)。ゆえに政治家の死という結果は、原因となる暗殺者のピストルを放った事象 (t_0, x_0) を基準とした未来の光円錐の内部に必ず含まれるのだ。

この事象間での因果的やり取りをさらに一般化したものが情報の伝達と考えられる。人間や物体の運動は光速よりも遅いので、複数の事象の間で物理的に因果関係にある一連の出来事は、確かにそれぞれの点を基準とした、光円錐が作る時間的領域の内部に必ず収まる。この話は物理 (科学) 法則に支配され得る離れた事象間での物体を取り巻くメカニズムだけでなく、物事の認知などの因果関係にも拡張できる。例えば、観測者が時空点 (t_0, x_0) で起こった事実を知っ

て、何らかの反応をする際に、その事実を情報だと捉えれば、それを受け取る観測者に割り当てられる事象は、必ず時空点 (t_0, x_0) を基準に取った、未来の光円錐の内側の時間的領域に含まれる。本にせよインターネットのweb記事にせよ、いかなる媒体であれ、情報そのものも光速を越えて空間に伝搬することはないからである。言い換えれば、原因となる事象は、結果である事象に情報として伝搬しているのだ。この情報の伝達領域によって、我々が日常的に使用したり感じたりする因果関係を包括することができる。

そしてこの情報が伝搬できない領域こそが、一般には因果を持ち得ない領域となる。すなわち、事象 (t_0, x_0) にとつて、光円錐の外側である空間的 (space like) 領域と呼ばれる領域は、光ですら到達することができず、事象 (t_1, x_1) はその空間的領域内のいかなる事象とも因果関係を結ぶことはできないのだ。これは、つまりは事象 (t_0, x_0) で起こった出来事の情報、その空間的領域内の事象には伝わらないということである。互いに空間的領域にある事象同士は情報のやり取りができないゆえに因果関係を結べないのである。逆に言えば、この光円錐の内部にあることこそが、因果関係が成立あるいは存在するための必要条件なのである。

この時空領域による因果関係の有無は、特殊相対性理論に続く一般相対性理論でも同様である。一般相対性理論においては、ミンコフスキー時空のような平坦な幾何学ではなく、リーマン幾何学という、非ユークリッド幾何学の空間構造を四次元に拡張した時空構造が用いられる。時空が曲がっているために、その歪みに沿って伝播

する光の速度も事象によつて様々であり、各事象において、綺麗な光円錐を描ける保証は無い。しかし、通常の物質が光の速度を越えて伝播することはないというテーゼは、特殊相対性理論と共通しており、この意味で光の軌跡による時間的領域と空間的領域の区別は依然として意義を持つ。

相対性理論による時間順序の相対性も因果関係には低触しない。相対性理論において、一般に任意の二事象 A、B のうち、どちらが先に起こり、どちらが後に起こったのかというのは観測者の参照系である座標系次第である。しかし、因果関係にある二事象の場合、すなわち、一方から見て他方が時間的な領域に含まれる任意の二事象に関しては、あらゆる物体が光速以下で動くという前提では、いかなる座標系を選んだとしても、原因よりも先に結果がくることはないのである。つまり、暗殺者のピストルの発砲ほどの系から見ても、必ず政治家の死の前であるのだ。ゆえに日常的な意味で用いる原因と結果の間の絶対的な順序を、むしろ相対性理論は後押ししてくれている。

しかし、この物理学的な因果概念から漏れ出す事例はいくらでも想像可能である。それは因果において、結果が原因に影響する可能性である。先述したように、全ての物体が光速を超えられないという前提に基づく限り、特殊相対性理論もそれに続く一般相対性理論も、時間的な関係にある二事象の因果関係において、単純な意味で時間を遡つて原因より前に結果がくる時間軸を取り出すことは現実的には不可能である。そういう意味ではタイムスリップや瞬間移動

は、あくまで現時点ではフィクションの産物だということになる。過去に戻つて現在までの歴史を変えようとする親殺しのパラドックスのように、本来は原因から結果へと至る絶対的な順序に対して、結果から原因への介入は物語の中でのみ通用する禁忌であろう。これを認めてしまえば、ある意味因果の備える日常的直観や、原因と結果の非対称性を根底から覆すことになりかねない。因果概念の有無やその解釈を根源的に追求する哲学にとつては、これはかなり深刻な問題でもある。

さらに、物理学においてもこういった事例は完全に否定されているわけではない。実際に光速を超える方法やワームホールの研究、さらには量子物理学における反粒子の存在などによつて、様々な説が打ち出されてはいる。^{★6} そういう意味では、物理学的な知見だけで考えても、現時点での光を基準とした因果領域の定義や、それに伴う原因と結果の絶対的な時間順序は、あくまで因果の一面面に過ぎないのかもしれない。一般相対性理論においては実際に結果が原因に先行する物理学的モデルもある。^{★7}

しかし、これらはあくまで可能性であり、ひよつとすれば、物理学そのものが新たな因果概念を与えるかもしれないという様々な憶測なのだ。これらの事例に共通して確かに言えることは、物理学の発展によつて、因果概念は現在の日常的な直観を越え、哲学的な解釈にも影響を与え得るということである。そういう意味では、仮に科学的法則を全面的に認めたとところで、科学に発展や修正の余地がある限り、現時点で因果概念を完全に説明するのは難しいのだ。

本論文はこの因果概念が現代科学で果たしている役割を改めて検討する。そのために主に科学哲学の文脈で用いられている因果の重要性に触れながらも、物理学を始めとする現代科学が因果の探究とは異なったアプローチで世界の真理を明らかにしようとしている側面にも触れる。このアプローチとはモデルや理論による抽象化を経た科学的説明であり、言わば因果から遠ざかるアプローチでもある。時空間という枠組みや、因果的相互作用から得られる経験的事実に重きを置いた伝統的な実在概念が、因果概念を手掛かりとしている一方で、因果とは別の根拠に基づいた解釈も大きなウエイトを占めていることは、注目に値すべき点であろう。

本論文において私が取り組みたいのは、従来の因果概念の根拠を強めることでも、逆に弱めることでもない。そうではなくて、敢えて因果概念自体の広義の解釈の可能性を示唆することで、新たな科学観を提唱したいのだ。実際にこの因果を基準としたアプローチと、因果から遠ざかるアプローチとの間には、ある意味現代の科学哲学が抱えるジレンマがある。そこで本論文は、因果性と抽象性を敢えて対極的な概念として捉えるのではなく、融合的な視点で解釈することで、このジレンマに一つの解決策を提供することを目指したい。融合的な視点とはすなわち、タイトルにあるように、因果自体を抽象化するという発想である。因果自体がもはや抽象的な枠組みであることと捉えることで、このジレンマをジレンマたらしめている魔物から取り除こうということである。これは因果だけでなく、これまで時空を前提としていた現象や経験的事実に対する、科学的事実在論への

の根源的な再解釈の可能性も意味している。

2 理論は因果や実在を捉えられているのか

因果がこれまでの科学の発展に貢献してきたことは言うまでもない。その因果を科学によって規定するというのは、一種の循環論法に陥る危険性もあるだろう。我々は簡潔に言えば、ある対象を別の対象にぶつけることで、その相互作用によって現象を理解し、その結果を用いて理論やモデルを作っている。実験室で日々行われている顕微鏡での観測は、光を資料に充てることから始まるし、身の回りを素朴に眺めている時でさえも、目に入ってくる光の情報を通じて何らかの現象を観測しているのだ。これらは明らかに観測者や実験者にとつて、因果的相互作用が可能な時間的な領域内の事象に限られており、科学における経験的事実のテストや反証はこのような実験や観測を通じて行われてきたのだ。

続いて、経験科学におけるモデル化や理論化に関して考えてみたい。経験科学と一言で述べたところで、その数は豊富であり、今や一括りに話ができる保証は無いかもしれない。しかし、共通して言えることは、世界の何らかの側面を語る上でモデルが欠かせない役割を果たしているということである。

モデルは理論のフレームワークの中で作られ、経験的事実に即しながら、その効力を発揮する。しかし、各科学理論において用いられているモデルは、世界をありのままに表す代替物というよりは、

ロナルド・ギャリー (Ronald Giere) が唱えるように、世界の側面を部分的に表象している媒体という意味合いが強い。^{★8}それは、モデルを措定している理論そのものが現実の世界に対して、抽象化や理想化を行った上で得られたものであるからである。つまり、モデルは世界そのものではなく、世界そのものから恣意的に余分なものを取り去ることで作られた、ある意味偽の世界を表象しているのである。

これは科学理論のあり方そのものと関わっている。ナンシー・カートライト (Nancy Cartwright) は、理論が理論として成立するためには、抽象化や理想化を免れることはできないとした上で、「物理法則は嘘を付く (The laws of Physics Lie)」と表現し、理論と世界とのギャップを指摘している。^{★9}例えば理想気体の法則は温度や圧力、そして体積に関する関係式を簡略化した状態で与えてくれるが、現実の気体が備える、分子自体の大きさや分子間力を考慮することで、これらの関係式は大きく修正され得る。ただし、一方で戸田山和久は「われわれは理想化と抽象化を施すことによって、この世界のより本質的な真理に近づいていく、という直感を捨てがたい」と述べている。^{★10}これは仮に理論が文字通りには嘘であったとしても、その記述は世界の真理を何かしら表象しているということである。

このことが単純化されたモデルの意義を一層際立たせている。実際に理想気体の法則によって、例えば一定の温度で圧力を大きくした場合の体積の振る舞いは、現実気体や気体分子の振る舞いがある程度正確に教えてくれる。しかし、これは理論の中に登場する言語や、法則を記述する文の集まりから成る一種の公理系が、厳密に世

界に当てはまるから成立するわけではない。それは抽象化や理想化を経たモデルを介しているからこそ到達可能な、一種のパターンや近似として成立する事実である。ゆえにモデルは世界を正しく表象する上で、科学理論そのものとして、言わば実物のレプリカとして意味論的に有用なのである。^{★11}

モデルは世界や現象の因果関係を知る上でも大きく貢献している。戸田山はマックス・ブラック (Max Black) の「モデルの存在論的使用 (existential use)」を強調した上で、世界や現象のメタファーという役割を持つ理論モデルの特徴を次に述べている。

このような解説的、発見法的な役割を超えた働きを理論的モデルはもちうる。つまり科学的説明、とくに因果的説明を与えるという機能だ。因果的説明を与えるためには、この世はどんなものでできていて、それがどんな働きをしているかを述べなければならぬ。モデルはメタファーを通してそれを提供してくれる。ふつう理論の仕事だと思われる説明という機能を果たすので、「理論モデル」と名づけられている。^{★13}

確かにモデルが実物についての説明をもたらすのは、モデルがその因果構造を備えているからだと考えることは妥当であるように思われる。もしモデルが実物の何らかの側面を切り取った真正正銘のレプリカであるならば、現象の因果的なメカニズムはモデルを詳細に吟味することによって初めて理解可能となるかもしれない。

しかし、モデルとそれが表象する世界や現象とのギャップも常に認識しておく必要がある。例えば惑星の軌道という物理的表現に関して、ニュートン力学の理論が重力による惑星の太陽との因果的相互作用を説明しているのは、実際の複雑な物理的軌道に対してではなく、単純化されたモデル内の楕円軌道に対してである。すなわち力学理論は既に経験的事実から得られているデータモデルに対して何かを説明しており、抽象的なモデルの中に物理的な因果構造をある意味写し取っているのである。理論モデルやデータモデルはあくまで抽象的な数学的構造であり、モデルの構造(structure)を物理的な現象に対応させるには、多くの場合に両者の間に同型性(isomorphism)を始めとした何らかの類似性を見出す必要があるのだ。

そして、この物理的な因果構造と抽象的なモデルの数学的構造との対応関係が新たな波紋を呼ぶ。第一にそもそも因果構造を抽象的に抜き取るとは可能なのかということである。スタティス・シロス(Stathis Psillos)によれば、モデル同士を比較する際に、モデルが現象の因果構造をどのように反映しているのかを考えることは、「現象(あるいは世界)には因果構造が元々内蔵(built-in)されている」ことを認めることなのである。¹⁴ シロスはこの文脈において、理論モデルやデータモデルを数学的構造と見なしているために、この指摘は経験的事実である因果構造の全てを数学的に記述することはそもそも可能なのかというものであろう。

数学的構造はあくまで抽象的な存在者である。経験主義を唱え、科学哲学者としても名高いバス・ファンフレーセン(Bas van Fraas-

sen)は、「科学は構造をもたらし、経験的な現象における構造の知識こそが蓄積される」と述べている。¹⁵ 言語かモデルかの問題はさておいても、長い科学の歴史の中で、時には修正や棄却を迫られながらも、変化を生き延びてきたのが現状の科学理論であることは間違いない。その根幹となるのが理論の数学的構造であり、異なるモデル同士を比較検討することは、この構造の違いに着目することでもある。

しかし、「それらの抽象的構造は、ただ構造的な同型性において記述され得るに過ぎず」¹⁶、逆に言えば、同型である二つの構造を区別することはできないのだ。例えば一方の理論構造の何かが、系を構成する対象の備えるある物理量 x の関数 $f(x)$ で表現されている場合に、同じ物理量 x に対して関数 $g(x)$ で記述される構造を持つ他の理論を作り出したとしよう。つまり前者が $f(x)$ 、後者が $g(x)$ を持つ理論であり、別々の理論であるはずだが、両者は $f(x)$ と $g(x)$ の同型性により対応付けられるために、同じ構造を持つということである。これは x と x' の間に生じる $f(x)$ による何らかの関係 $[f(x)$ と $f(x')$ の関係]が、 $f(x)$ と同型性を保つ $g(x)$ による関係 $[g(x)$ と $g(x')$ の関係]にも引き継がれているからである。もし構造こそが理論の本質だとすれば、構造的に同型性を持つ無限に多くの科学理論を見分けることができず、世界を抽象的な観点でしか表象できないことになる。

これは、科学理論が究極的に世界の真理を記述することができるのかという、知識テーゼを扱った実在論論争と密接に関わっている。¹⁷ 我々は因果的相互作用やメカニズムを理解することによって、

世界や現象の中に何らかの対象を認めている一方で、抽象化された構造にもその存在意義を見出している。そして、むしろこの構造の方に実在の基準を求める構造実在論こそが現代の科学理論にとつては有益であることも多いのだ。構造に存在を求める根拠は、例えば科学史における理論変化や量子物理学の解釈にある。^{★18} 大気中を占めるエーテルや、物質の燃焼に使われるフロギストンなどは過去には科学理論の中で実際に実在を仮定されていた理論的对象であるものの、現代科学においては棄却されてしまった代表例である。これらの対象を伴う理論は、世界の真理を記述できず、後に登場した電磁場理論や酸素説といった新科学理論に取って替わられたのだ。しかし旧理論の対象は間違いであつたとしても、それらを記述していた旧理論の構造の一部は、上記した同型性を通じてそのまま新理論にも引き継がれている。すなわち、旧理論と新理論において、指定されている対象は違うものの、根幹の構造は共通しており、抽象的な構造こそが世界の真理や実在を正しく記述しているという解釈が生まれるのである。

構造実在論のような、理論の構造的解釈は、言わば実際に因果関係を及ぼしている具体的な物理的对象へのコミットメントを一旦保留している。先の戸田山の引用においても、「因果の説明を与えるためには、この世はどんなものでできていて、それがどんな動きをしているかを述べなければならない」とあるように、理論が記述する対象の実在を放棄することは、方向性としては、因果の追求からはより遠のいているようにも感じられる。そもそもこの抽象的な構

造とは、経験科学が目的としている現象の説明や分析に対して何を表象しているのだろうか？

因果構造と対極的な意味での抽象的な構造は確かにある。構造とは先に述べた x と x' の間に生じる抽象的な何らかの関係、すなわち因果の担い手である対象が備える何らかの量の間で成立する関係的な性質の集まりであるという発想があるからだ。ジョン・ウオラル (John Worrall) が指摘したように、仮に理論変化が起こつてそれまでの科学理論が書き換えられたとしても、新理論と旧理論の各々において指定されている対象間の関係の集合同士が、数学的構造としては共通していると示唆される。これはすなわち、科学理論によつて、対象やそれ自体の内在的な本性 (nature) を知ることは永遠にできないが、対象同士の外在的な関係の性質であれば、経験的にテストして知ることができるといふ認識論的な立場である。^{★19} この立場は、科学において対象やそれが備える真の物理的内容 (content) は今後とも理論変化を繰り返す中で、棄却されていく可能性があるが、それらの対象が織りなす構造という限られた抽象的な側面のみ我々は掴むことができるということを含意している。

ウオラルが指摘しているように、空気中に目に見えないエーテルという伸縮可能な弾性体を指定している時点で、エーテル理論は完全に間違つていた。ジャン・フレネルは光が進行方向と垂直に振動する横波であることや、光の回折や偏光といった光学的現象を明らかにした物理学者として知られている。しかし、「後統のそれに取って替わつた理論の観点から見れば、フレネルは光の本姓 (光の媒質

を真空中のエーテルと捉えていた点) に関して完全に間違っており、彼が指定した理論的メカニズムは、新しい理論のメカニズムに近似していたり、制限事例になっていたりはしない^{★20}の^{★20}だ。後続の理論とはフレネルの後に同じく物理学者であるジェームズ・マクスウェルによつて定式化された電磁場理論であり、俗に言うマクスウェルの方程式をその基本法則としている。これらの基本法則にはエーテル理論が依拠していたような弾性体の力学的な振動は含まれず、電磁場理論は形状を持たない電磁場の振動を表しているに過ぎない。フレネルとマクスウェルは根本から異なっているのだ。

しかし、旧理論であるエーテル理論は光の正体ではなく、光の振る舞い自体に関しては正しく記述しているとウォラルは続けている。光の構造は、それが伝搬する環境の境界面(例えば水と空気の境界面)において、反射や屈折という光学的現象を通じて、その性質を言わば間接的に教えてくれるというわけである。境界面を通過する際に、元々の入射光は反射光と屈折光に分岐するが、エーテル理論ではこれらの光同士の振幅に関する関係式、すなわち強度に関するフレネルの方程式が導かれる。この方程式はエーテル粒子による振動という力学的モデルに訴えながらも、マクスウェルの電場や磁場の振幅同士の関係式としても、完全に導くことができるというのがウォラルの構造的解釈の主張となる^{★21}。すなわち、光学現象に着目すれば、それを担う数学的な法則のレベルにおいて、旧理論と新理論で連続性があることが示唆されており、フレネルの展開した振幅の関係式は、光が横波であるという描像をも正当化しているの

だ。ゆえに「フレネルはある範囲の光学現象全体に関して正しかっただけでなく、それらの現象が光に直交して周期的に変化する何かに基づいているということについても正しかった」の^{★22}だ。これが、抽象的な構造が共通しているという主張に依拠した理論変化の解釈の一事例である。

さて、抽象的な構造とは何を表象しているのだろうかという元の問い掛けに戻ろう。現象に基づいている限り、因果的な対象そのものからは遠ざかるとは言え、構造は経験的な事実を表象していると言えなくはないかもしれない。しかし、伸縮可能なエーテルであれ、電磁場の振動であれ、光が境界面で因果的相互作用する詳細なメカニズムを、入射光や反射光の振幅の関係式のみから完全に導くことは不可能であろう。我々が共通の構造により知り得るのはあくまでそれらの関係式のみであり、それが意味する物理的内容は理論によりけりなのである。すなわち対象同士の相互作用に当たる「因果性はその抽象的構造によつては決まらないし、記述もできないことが帰結する」の^{★23}だ。

これは、ウォラルの認識的構造実在論のように、知ることができものがせいぜい世界の限られた一部の構造であるというような、やや遠慮がちな構造的解釈に限った話ではない。構造と内容(本性)の恣意的な二分法を反省し、世界は構造で出来ているという、後に主張される存在論的構造実在論の立場を取つても、なおさら雲行きは怪しくなる。この立場では対象や因果は実在するというよりは、あくまで副次的に構築される「世界の様相的構造の実践上の代用

品」^{★24}という扱いとなつてゐる。様相的構造とは、端的に存在する数学的な抽象的構造に肉付けをしたもので、存在的構造実在論の立場でこの代用品を認めるといふことは、あたかも抽象的構造を越えて何か、実際にあるように見えずという戦略を取るといふことになる。構造実在論にとつて、現象内の因果の輪郭を組み込むのは結局のところ難しいのだ。

ファンフラースェンは、この二分法的な区別を緩和し、経験的に成功している現象であれば、その物理的な因果構造は、上記した同型性や類似性の議論を通じて抽象的な構造の中でのみ記述され得ると考えた。この場合、経験的事実（実験データや観測結果といった経験的な側面で、理論通りに振る舞うことが確認されている内容）が含まれる現象にいかにかに詳細に踏み込んだところで、結局は抽象的なモデルの中でしかそれを記述することができないのが科学だという捉え方になるのだ。すなわち、科学理論が知識の連続的な積み重ねである限りにおいて、光の強度の実験結果のような、比較的経験的事実に依拠した現象の記述に関しては、同じ事実に基づいている以上、新理論のモデルに埋め込むことが可能な構造は、旧理論のモデルにおいても近似的に埋め込まれると考へて良いということである。こうした抽象的な記述の中には因果構造が既に含まれているというわけだ。

これは言わば、構造が記述している現象そのものが経験的に成功しているのであれば、その経験的十全性を認めることに留め、敢えて抽象的な構造の実在や、それによる物理的内容の表象にまで踏み

込まないという、不可知論的な経験主義のアプローチなのである。実際に理論やモデルの異なる別々の構造が同じ現象を説明することもあり得るので、仮に物理的な因果構造が明確に実在したところで、それと完全に同型である構造を見出して表象することは不可能なのである。

3 因果から遠ざかる構造にこそ……

私が本論文で指摘しておきたいことは、この因果構造からむしろ遠ざかつていく方向にこそ、科学の本質はあるのではないかということである。前章では、理論やモデルの数学的な（抽象的な）構造が経験的事実を通じて、物理的な因果構造と関わりを持ちながらも、両者の間にはやはり溝があることを論じたつもりだ。私自身は構造実在論者を悩ますこの問題に真正面から向き合つて、究極的にこの抽象的な構造が、因果を捉えられるのかという問いに答えを出すつもりはない。むしろ因果の表象以上に、というより従来の因果概念と切り離して物理的内容を吟味することにこそ、構造の意義がある²⁵と考へている。

これは、そもそも物理的、あるいは経験的事実とは何かという問いを改めて考へることを意味している。暗黙の了解のごとく、それは現象を担っている対象同士の因果的相互作用だと考へるのは自然な態度かもしれないが、これにはどうしても理論負荷性が付き纏う。境界での反射光や屈折光の入射光に対する強度を知つたところで、

それが伸縮可能なエーテルの振動による結果なのか、あるいは電磁場自体の振動の結果であるのかは、理論の背景に科学者自身がどのような存在者やメカニズムを措定しているか次第であり、同じ構造でも因果的解釈自体が変わってくるのは前章で述べた通りである。ファン・フラッセンのように、経験的な成功を認めるのみで、これ以上の实在論論争には踏み込まないのが賢明かもしれないが、そもそも現象を介した物理的内容とは、こういった因果の詳細なのであるか？

具体的な構造という考え方もある。これは、構造には様々な階層があることを認めた上で、因果構造に最も近いものを指している。構造とは抽象的なものであるという前提を保っている以上、その対義語を用いた具体的な構造、というのはいささか矛盾した表現かもしれない。しかしこういった表現は、構造がどれだけ因果の詳細に触れられるのかという、構造实在論の課題にいくぶん寄り添ったアプローチを可能にするのだ。

具体的な構造とは、モデル内で言わば対象の持つ直接的な、一階の性質と呼ばれる性質同士の関係を表象したものである。例えば棒には長さや重さ、色といった一階の性質があり、長さや重さには定量化された数値による大小関係が成立し、これらによって、具体的な構造が成立する。アンジャン・チャクラバティ (Anjan Chakravarti) は、もし知覚的な経験と結びついているならば、構造は具体的な因果を検出性質 (detection properties) として捉えることができるといふ、半实在論に辿り着いている。²⁵ これは我々と世界との間

で直接因果的相互作用することができる性質の中に、もし検出性質が含まれているならば、理論に含まれるその部分は实在に寄与し、検出性質ではない部分は将来の理論変化によって棄却される可能性があるという主張とも捉えられる。

この半实在論では、因果そのものを表象するのではなく、因果構造の中で検出性質のみにコミットするという点が斬新であると思われる。理論の経験的に成功している部分の記述は確かに因果構造を捉えていると言えるかもしれないが、あらゆる因果構造が経験的に成功している、すなわち検出されているとは言えないだろう。光の強度の関係式は光の検出性質と呼べるかもしれないが、伸縮可能なエーテルと我々との因果的な性質はそれ以外にも多く考えられるだろう。しかし、チャクラバティの言い方を借りれば、それらは関係式を成立させるために必要な検出性質ではなく、あくまで光の理論を構成するための補助性質 (auxiliary properties) に過ぎず、²⁶ 経験的な事実と結び付かないためにエーテル理論は減んだのである。電磁場理論は少なくとも、マクスウェルの方程式を通じて、電流や磁石における観測結果なども踏まえた上でエーテル理論より、多くの必要な検出性質を含んでおり、ゆえにより多くの因果構造を捉えていると考えられるのである。

物理学は現象を記述するために、検出性質に基づいた法則から出発している。この意味では因果の詳細を最も重視していると言えるかもしれない。カートライトは、マクロな現象で、比較的測定しやすい物理量同士の関係を捉えている法則を現象論的法則と呼んでいる

る。^{★27} ガリレオ・ガリレイの落体の法則や、気体の圧力、体積、温度の関係を表したボイル・シャルルの法則といったような類の法則が現象論的法則である。一般化（抽象化）を経ているとは言え、これらの法則はれっきとした検出性質に基づいている。

検出性質に重きを置くことは、直観的には経験科学としての理論の価値を十分に高めているが、ここで敢えて一階の性質からなる因果構造を離れ、さらに抽象的な高階の構造に目を向けてみたい。確かに理論が経験的に成功していることは科学にとって絶対条件である。いかに美しく一貫性のある理論を生み出したところで、それが実験や観測的な結果を伴わなければ科学としての意味はない。しかし、科学者は必ずしも具体的な構造を分析しているわけではないのも事実である。具体的な構造の一部である検出性質のみから帰結できる一階の性質に基づく物理的内容は、理論全体から見ればごく一部であり、それだけが世界の真理や実在であると考えるのは、科学哲学の文脈に限らず、果たして正しい科学の評価のあり方なのだろうか？ 現に最新の物理学理論をはじめとした現代科学は、対象同士の性質を持つ新たな性質同士の関係といった具合に、高階の構造を意図して、より抽象化する向きへと理論を進展させている。この発展を見過ごすわけにはいくまい。

現象論的法則は基本法則をその根幹としている。基本法則とは「物体の運動方程式」、「場の方程式」、「熱力学の四法則」などであり、それぞれの系に成立する関係式として全て独立に機能している。^{★28} これらの基本法則は、基本的には各々の系で措定されている理論的

対象の性質に関するものであり、それらは現象論的法則と同様に一階の性質に近い。しかし、例えばニュートンの運動方程式は、恐らく物体の一階の性質と見なせるであろう位置座標に時間パラメータでの微分を二回施した結果得られる加速度という性質と、実際に物体に働いている力との関係式を記述している。加速度は物体の性質と言えるが、一階の性質と呼べるのかどうかは疑わしい。さらに先程から例に挙げているマクスウェルの方程式は、電場や磁場といった、空間中を伝搬する物理場に関して成立する関係式である。これも経験的事実とは言え、電場や磁場の値が目に見える実体 (substance) と同じ、対象の直接の性質という括りにカテゴライズできるかどうかは特に科学哲学の文脈では怪しい。^{★29} つまり各々の分野の基本法則は、控え目に言わない限り一階の性質をはみ出しているのである。

さらに理論は高階の構造でこそ深く結び付いている。実際にニュートンの運動方程式は、万有引力の法則と結び付くことで、ガリレオの地上での落体の動きと天球上の星の軌道が実は同じ運動法則に従っていることを教えてくれる。基本法則は現象論的法則以上に抽象的であるがゆえに、一見異なる複数の現象を包括しているという点では、科学理論の価値を十分に高めてくれるだろう。^{★30} そしてこれらの基本法則をより抽象化することで、最小作用 (action) (因果的相互作用の作用とは全く異なる抽象的な概念) の原理に行き着く。この原理によって、マクスウェルの電磁場の法則や物体の運動方程式、アインシュタインの重力場の方程式といった異なる基本法

則は、全て作用という一種のエネルギー表記を変形した高階の物理量が極値を取るという条件でまとめることができるのである。藤田翔によれば、この最小作用の原理こそが物理学の根幹であり、あらゆる構造の元もとなのである。^{★31}

具体的な構造を離れ、抽象化する向きにこそ現象を包括する力能がある。^{★32}逆に検出性質だけを見ていても、決して作用(action)には行き着かない。因果事象で溢れる空間領域のどこを探しても作用は見当たらないのだ。構造の元まで辿る抽象化と、検出性質に向かう具体化のいずれに物理学の本質を求めるかに関しては立場が分かれるかもしれないが、この抽象化によって得られる帰結は、因果以上に重要であるという可能性も否めないということは少なくとも言えるだろう。

理論的対象は現実世界ではなく、モデルの中でこそ実在するのである。シロスは、科学的事実論は抽象的存在者である普遍者としての実在にコミットすべきだと述べている。^{★33}カートライトの言うように、科学理論は現実世界ではなく、抽象化かつ理想化を経たモデルの中でのみ正しく成立し、そこで登場する電子や原子はあくまで理論の中の対象に過ぎないかもしれない。しかし、決してフィクションではなく、現実世界の何かを近似的に正しく予言できている。そういう意味で、理論の中の対象やモデルは、現実世界の振る舞いや現象を説明する上で有用なのだ。^{★34}

物理学理論はこのモデルを用いることで、最小作用の原理を通して、自然法則が成立することを教えてくれる。作用はモデルの中に

確かに実在し、それでいて検出性質に近い現象論的法則が成り立つ理由も説明してくれるのである。理想化や抽象化を経て、高階の性質や構造を扱うモデルは、現実世界とは因果的には不活性ではあるが、説明という観点で包括的であり、有用なのである。

4 拡張され得る因果概念と理論的対象

検出性質を表す因果性とは遠ざかる向きに、抽象化の在り方がありと述べたが、この抽象化という過程は、因果概念それ自体にも普及しているという可能性に触れたい。本論文では、従来の因果概念をより広義に捉えて、さらにその概念を発展させることで、これまでの相反する因果性と抽象性の図式を越えて、現代科学が提唱する新たな世界像を示唆したい。

因果は時空間を前提としている。1章において、因果関係の必要条件が時間的な領域にあることを示したが、物理的な因果とは互いに時間的な領域にある事象、すなわち光速以下で辿り着ける原因と結果の二事象のセットで表される事象同士の組み合わせであった。これらの事象は時空領域のどこかにあり、因果関係として結び付いているのだ。観測者の実験室における検出装置との因果的相互作用は、理論的対象の一階の性質を掴む上で、重要な因果を備えている。電子の性質を観測する際には、電子と何か(例えば電磁波)を相互作用させた上で、観測者が特定の実験結果を目標することでその因果事象から検出性質を読み取っているのである。これらの事象はす

べて時空領域の現象として位置付けられているのである。

これらの対象との因果的相互作用、すなわち対象への介入や操作が、もし時空間を前提としないのであれば、それは1章で挙げた時空的な因果とは異なった、新たな因果概念を示唆していることになるだろう。本論文では、この時空領域には取まらない広義の因果概念を導入したい。

4-1 空間上にはない対象への介入・操作

まずは空間上には存在しないミクロな対象への介入や操作である。これは、現代物理学が物理的領域を空間以外の場所に求めている実情によるものだと私は考えている。3章では高階の性質に着目し、作用 (action) のような検出には掛からない抽象的な物理量を持ち出した。作用が直接検出できないのは、ある意味それが空間中のどこにもないという意味で、抽象的だからである。それは単に因果的に不活性なモデルの中の代替物だからというだけではなく、空間上のどこにも存在しないという意味で、まさに因果からは遠ざかる観測不可能な存在だからなのである。しかし、ここで取り上げたいのは高階の性質ではなくて、あくまで因果的な検出性質を担う存在でありながら、なおかつ空間上に存在しない対象の事例である。

この話に入る前に、抽象的な物理的对象に関してまとめておきたい。シロスは抽象的な対象の中で、純粹な数学的对象 (MAOs: Mathematical Abstract Objects) とモデルの中の非数学的对象

(NMAOs: Non Mathematical Abstract Objects) を区別していた。^{★35} 例えば、数や集合といった、物理現象とは関係を持たない数学的对象は単なる MAOs だが、物理学のモデルを構成する数学的な対象や構造は、物理世界に何らかの具体的な対応物を持っている。そういった普遍者が NMAOs としてモデルの中に存在しているということである。この NMAOsこそがシロスの意図している科学的実在論のコミットすべき抽象的对象であり、言わば物理世界の多数の個別者 (particular) によって例化されるモデル内の存在者である。

この多数の個別者の振る舞いに対して、法則内の普遍者は説明的なのである。例えば、シロスの例でも挙げられているように、線形調和振動子 (HO: linear harmonic oscillator) は、永久に往復振動を繰り返す理論的对象であり、現実世界のどこにも存在しないが、現実世界に存在している多くの振動現象の検出性質を教えてくれる。実際に調和振動子は、具体的な振り子の周期が、振り子の長さの平方根に (大まかに) 比例する理由を数式的に与えてくれるだけでなく、もし振り子の長さを変化させれば、周期がどのような値になるのかといった反事実的条件も予言してくれるのだ。^{★36} これは3章で述べたように、モデル内の理論的对象は現実世界の対象と因果的には不活性ではあるが、多くの具体的な個別者を説明しており、ゆえにシロスにとって、NMAOs は抽象的ではあるものの、科学的に理論 (モデル) の中で実在しているのである。

そして、普遍者である NMAOs に対応する個別者の存在領域は、基本的には時空領域である。振り子は三次元空間のいずれかに位置

付けられており、その時間的な動作を我々は観測によって因果的に検出しているのである。もしここで、因果的相互作用にこだわるならば、検出性質を担っている個々の振動している対象のみが存在し、普遍者である ZMAOs は、単なる現象を説明するためのツールであるという、唯名論的・科学的・実在論の立場もあり得るだろう。唯名論的科学的実在論においては、実在するのはあくまでモデル内の普遍者を例化し、その振る舞いを例示する個別者であり、抽象的な存在者ではない。唯名論とは、MAO や ZMAO のような抽象的な存在を認めず、具体的な存在者にのみコミットすべきというスタンスを奉じる立場である。^{★37} 理論構造の中で、あくまで因果構造に実在の照準を当てるという意味で、抽象的な存在者の実在を認めないという経験主義的な立場もあり得るが、因果構造の曖昧さは却って唯名論者を窮地に追いやるように私には思えてならない。

そこで、いよいよ空間上には存在しない対象の話に入ろう。ここで注意したいのは、この空間上には存在しない対象とは、決してモデル内の調和振動子のような ZMAOs のことではないということだ。あくまで ZMAOs を例化している各々の個別者のことである。つまり、この対象とは、説明的であるモデルの側ではなく、あくまで因果的相互作用を及ぼす現実世界の側にある対象を指示しているのである。これによって、因果概念がこの時空領域に限られるという前提自体が疑わしくなるのだ。

光はミクロな領域では光子の集まりであると解釈されている。2 章で光の正体がエーテルであるか、電磁場であるかという話を構造

的解釈の文脈として取り上げたが、この古典的な電磁場は量子論においては、量子化という手続きによって、仮想粒子と呼ばれる離散的な粒子の単位へと行き着くのである。光は電磁波として記述される古典論的な波動性に加え、量子論的な粒子性も備えており、それが因果的な検出性質からもテストされているのだ。すなわち、経験的事実によって、光が光子の集まりであるという主張が意義を持つということである。

光の正体が粒子なのか、それとも波であるのかという議論は、2 章で挙げたウォラルのエーテル VS 電磁場の議論も巻き込んで、歴史的には長いルーツを持つ。藤田によれば、光電効果という事例が光子の因果性を表す経験的事実を物語っているということだが、これが科学的に見ても、光は光子の集まりであるという量子論的な事実の一端を担っていることは間違いない。^{★38} 光電効果とは、金属に光を入射させることで、物質表面から取り出すことのできる電子の数やそのエネルギーを測定する実験のことで、光からエネルギーを受け取った電子の振る舞いを表しているという点で、この実験結果は検出性質を表していると言って良いだろう。光の波動性によれば、照射する光の強度を上げること、すなわち光の振幅を大きくする（より明るくする）ことで、その分光のエネルギーは増える。しかし、光の振動数がある値以下であれば、どれだけ強度を上げたとところで取り出せる電子が全く存在しないという実験結果が得られるのである。

この不可思議な検出性質を説明するために、本格的に導入された

のが光の粒子性である。光は振動数に比例してエネルギーを持つ個々の光子の集まりであるという描像がこの問題点を解決したのである。この粒子説では、個々の光子は金属表面の個々の電子に対して、一対一でエネルギーのやり取りをする。個々の光子のエネルギーはあくまで光の振動数に応じて決まるために、一個当たりの電子に与えられる最大のエネルギーは、光の振動数にのみ依存するということになる。振動数が小さい状態で、光の強度をどれだけ大きくしても、光子の数が増えることにより、全体のエネルギー増加には繋がるものの、個々の光子の備えるエネルギーは増加せず、金属表面の電子に与えられる最大エネルギーは変化しないのだ。ゆえに、強度ではなく、照射する光の振動数を大きくすることが、光電効果による電子の放出にとつての必須条件となる。

そして、この光子は空間上ではない抽象的な領域を振動していると言える。この光電効果が実験室において、光子に対する因果的な操作・介入であると考ええることは問題ないだろう。ぶつける光の振動数と飛び出る電子のエネルギーの関係といった検出性質を、確かに光電効果は捉えている。光の振動数は、検出される光のスペクトルから直ちに計算できる上に、電子のエネルギーも他の原子との相相互作用や測定器を用いることで検出可能な性質と言える。しかし、この光子は量子化の手続きによって得られた仮想粒子であり、三次元の実空間ではなく、光の振幅を表す物理量を変数とした抽象的な空間を振動しているのである。すなわち、光をどれだけマイクロに分解したところで、幾何学的にその構成要素に行き着くわけではない。

光子は光の通り道を運動しているのではなく、あくまで抽象的なパラメータの中を調和振動子として運動しているに過ぎないのだ。

この光子の物理的な実在を認めることは、空間上には位置付けられない対象にコミットすることを意味するだろう。光子を普遍者として認める立場であれば、量子論のモデルが光電効果という経験的事実をうまく説明しているという点で、光子は実在していると言えるだろうか。この場合、光子はあくまで調和振動子の一事例という扱いで、確かに $EMOs$ としてモデルの中に実在している。しかし唯名論の立場であれば、個々の光子は、あくまで現実世界の個別者として、すなわち調和振動子を例化する具体例として実在していることになるだろう。この場合、単に理論が経験的事実を説明していることに加えて、その実在を個別者である光子が担っているという解釈になるのだ。こういった個別者は、検出性質に因果的に活性という、対象ならではの特権を備えており、これらの実在に関する問いは、高階の作用が実在しているのかどうかという問いとは、また別物である。すなわち、もし唯名論的な発想で因果的相互作用に実在の重きを置くのであれば、現代物理学は空間上には位置付けられない仮想粒子の実在を認めざるを得ない状況に直面しているのである。

さらにこの光電効果による経験的事実は、因果という枠組み自体をさらに拡張しているようにも思える。光電効果で挙げた、光の強度や振動数、そして取り出せる電子の検出性質は、全て実験室での時空間的な因果的相互作用に限られるかもしれない。しかし、この事

実を裏付ける光の粒子説は、光に関する補助仮説でも、ましてや高階の構造でもなく、単に電子との因果的相互作用を及ぼす一階の検出性質に関わっているのだ。光子は空間上ではなく、あくまで抽象的な領域を振動している仮想粒子であり、電子のような空間上に位置する物質とエネルギー的やり取りをしているのである。ゆえに具体的な個別者のみを認める唯名論者は、それらが振動している抽象的な領域を認めざるを得なくなるのだ。そこでこの仮想粒子の抽象性を理論やモデルにおける、因果性と相反する対極的な意味での抽象性ではなくて、むしろ因果性に取り入れるべき新たな抽象性と見なすことはできないだろうか。光の正体が何であるのかという問いは、抽象化された構造に加え、拡張された因果概念の中でさえも有意義なのである。

4-2 時空間を前提としない抽象的な因果モデルの可能性

ここで、我々は因果性と抽象性の関係をもう一度捉え直す必要があるのではないかと思われる。従来の因果を時空領域の事象と捉えれば、抽象化のプロセスはある意味時空領域から離れた法則化の一次であった。因果を重んじる場合、我々と直接相互作用できる時空領域に対象の実在を見出していただろう。そして仮想粒子の事例で挙げたのは、その因果概念が空間の外側にも拡張しているという新たな描像であった。もし、因果概念が時空領域を離れることがあ

ば、因果性と抽象性の二分化そのものが、もはや通用しなくなる世界像も可能なのだ。ただしこれによって、経験的事実の現代的な意味付けができるのであれば、ますます抽象化される科学理論の解釈は、より大きな飛躍を遂げられるかもしれない。

そして時空概念そのものを対象とする現代物理学は、因果概念をより根本的な枠組みへと捉え直すアプローチも取り得る。これは、時空領域の中で因果を理解するのではなく、むしろ因果概念をより抽象化することによって、時空以上に基礎的な存在を示唆する、新たな世界観への誘いなのである。すなわち時空を前提にした因果概念ではなく、因果概念の中で時空概念が生まれ得るといふ、因果の究極的な位置付けを目的としたアプローチなのだ。

時空が基礎的な枠組みではなく、より基礎的な存在から創発したという解釈は、量子重力理論の文脈で大いに取り上げられてきた。³⁹ 理論がいかに抽象的であるとは言え、時空内での伝統的な因果的相互作用を伴う経験的事実に基づいていた物理学にとつて、この時空の創発は非常に驚くべき世界像であったに違いない。これは言わば、量子重力理論が扱うミクロな領域においては、時空を前提としない物理現象や経験的事実が成立するということである。

量子重力理論には数多くの候補的理論があるが、ここでは因果概念に着目した因果集合論という離散的な時空像に着目する。因果集合論とは、離れた要素同士の間には抽象的な二項関係を築いて集合を構成し、それを部分的な時空構造に対応させることで時空領域において、互いに因果関係を備えている時空点同士の本質を炙り出そう

という試みである。

サム・バロン (Sam Baron) とバプティス・リービーハン (Baptiste Le Bihan) は基礎的な因果概念こそが、時間的領域や空間的領域といった、事象同士の関係を定めていると述べている。^{★10}これは、従来の具体的なはずの時空の幾何的な性質は、抽象的に規定された因果によって副次的に決まるという、新たな世界像への誘いなのである。この世界像を理解するために、因果集合論が記述する離散的な時空の情報を簡単にまとめておこう。

因果集合論では各々の因果集合 (causet) が要素の集合 E と要素間の二項関係 μ の二つの組み合わせ (μ, E) で与えられる。この μ が、因果集合論における要素間の因果的な先行を表す半順序の関係項であり、例えば二つの要素 A と B の間に $A \prec B$ が成立することは、 A は B より前の因果的な事象として先行しているということになる。

この因果集合こそが時空を基礎付けている、より基礎的な枠組みであるという解釈が一種の時空の創発的描像である。というのも因果集合論はあまりにも抽象的であり、因果集合における要素を時空点 (事象)、記号 μ での関係をただちに本来の意味で用いている原因と結果の因果関係と呼ぶのはやや短絡的だからである。一般相対性理論が記述する時空構造の中には様々な数学的に複雑な幾何的性質があるが、因果集合は時空の情報を極めて簡略化し過ぎているために、時空の模式図というよりは、時空構造の創発源なのである。ゆえに、因果集合はより基礎的な存在者と呼ぶ方が理に適っているだろう。

時空点同士の関係は因果集合における因果関係 μ によって、一意に定まるわけではない。因果集合論においては、時間の流れや空間的距離に対応する概念すら明確ではなく、因果集合から時空の幾何構造に至るには何らかの対応関係が示されるべきである。ゆえに因果集合の要素を時空点 (各事象) に対応させるためには、特定の写像 Φ が新たに必要となる。しかし、因果集合の限られた情報から、時空の幾何構造における数学的な定式化を全て生み出すような、一対一対応の写像 Φ を決めることはできない。ゆえに時空関係は因果関係と同一ではなく、因果関係により何らかの制限を掛けられる創発的關係であり、「事象間における時空的な関係は、因果関係によって基礎付けられる (grounded in)」のだ。^{★11}

実際に半順序が数学的に満たす条件は、抽象的とは言え、本論文でこれまで考えてきた因果概念と整合的ではある。三つの要素 A 、 B 、 C において、 $A \prec B$ と $B \prec C$ が成立するならば、 $A \prec C$ が成立するという推移性は、因果事象に置き換えてみても明白である。結果 C である政治家の死の直接の原因 B は、政治家の心臓停止であり、さらにその原因 A は暗殺者のピストルの発砲である。 A が C の原因であることは、大前提として考えてきたことである。さらに $A \prec B$ と $B \prec A$ が共に成立する場合、 $A = B$ が成立するという反対称性は、二事象に関して原因 (暗殺者のピストルの発砲) と結果 (政治家の死) が無作為に入れ替わらないという意味での非対称性を根拠付けていると考えることもできる。すなわち、半順序という記号で結ばれた二項関係は、抽象的である一方で、時空領域で考えた因果の備える

直観的な根幹的性質をある程度押さえているのである。^{★12}

そして、時間的領域や空間的領域の概念も因果集合の基礎的な関係を基に表現することを試みる。量子重力理論を題材にしている以上、恣意的な仮説も多数含むことにはなるが、因果集合論の抽象的な要素同士の因果関係と、時空領域の事象間の具体的な関係との橋渡しをしよう。ここで複雑な時空構造の中で、各事象同士が時間的な向きと空間的な向きのいずれの関係にあるのかということ、すなわち、一方から見てもう一方が時間的領域と空間的領域のいずれに含まれるのかということ因果集合を用いて記述したい。

時間的な向きは、より基礎的な因果関係によって基礎付けられる。バロンとリービーハンは、因果集合の要素同士を半順序関係のみで繋げたモデルから、時間的領域にある時空点の幾何的な距離(空間的距離ではなく、それを一般化した時空間の事象同士の距離)を次のように定めた。因果的に結び付いている要素同士は、互いに時間的な向きにある時空点を基礎付けており、事象間の時間的距離は、因果集合における要素間の直接の最短経路(geodesic)の距離に対応している(図2左参照)。つまり、順序関係にある事象間のみ時間的距離が定義でき、なおかつその距離は直接経由する線分の数に基礎付けられるということである。これによって、時空領域による因果概念の定義ではなく、因果による時空概念の定義がなされるのである。そして空間的な向きは、この因果の不在によって定まる。時間的な距離と違って、空間的な距離は、因果集合の要素間の順序には対応しないのだ。逆に言えば、間接的な結合が空間的な距離を基礎付

けており、それは必ずばり線分によって辿ることのできる共通の要素、言わば共通原因に行き着く二つの要素の間の間接的な結合なのである。同じく図示するならば、事象間の空間的距離は、共通原因を経て経由する最短経路によって基礎付けられるのである(図2右参照)。つまり、事象間の空間的距離は、要素同士の共通の原因を経て横切る線分の数に基礎付けられるということである。時間的な関係とは違って、直接の因果関係には該当しない事象間に空間的な関係が生み出されるということである。言わば、因果の不在による時空概念の定義がここでなされるのである。

時空に先立つ因果は、一層基礎的な枠組みであると同時に極めて抽象的な枠組みなのである。因果集合が時空以上に基礎的であるという意味で、この構造は時空の創発という、「時空を前提としない世界像」を改めて理解するためのきつかけを提供してくれているのではないかと思われる。実験や観測における因果概念が、あくまで時空領域の事象間での経験的事実に限られるならば、この新たな因果は、まさに時空を前提としない抽象的な概念と言えるだろう。3章で論じたように、旧来の因果から遠ざかる向きにこそ、この新たな因果の本質を求めているということではないだろうか。因果集合は要素間における数学的な関係のみで成立しており、それはすなわち抽象的にモデル化された構造の中でこそ本当の因果を論じられるということなのである。

この抽象的な因果の記述は、構造的解釈を支持しているように見えるものの、この構造がシロスやファン・フラージェンが意図したよ

うな、因果を包摂する構造とは異なっていることに注意したい。3章で述べたように、この世界像は数学的な構造の中に同型性などを手掛かりとして因果構造を見出すというわけではない。むしろ因果構造そのものが数学的であるという、物理学における具体性と抽象性の二分法そのものに対する批判なのである。

この構造が意味する抽象性は、現象から離れた意味での抽象性では決してなく、むしろ現象に寄り添った抽象性である。本章で取り上げた事例では、現象の説明や法則の数学的な定式化という側面以上に、ミクロな世界におけるメカニズムそのものを扱っている。4-1の空間には位置付けられない光子に対する因果で論じたように、個々の仮想粒子は説明のための代用品ではなく、現象内の因果を及ぼすれつきとした対象である。ミクロな世界の現象は、仮に時空領域の検出性質を与えたとしても、もはや時空間に位置付けられる対象による現象とは限らないのである。そして、4-2の時空間を前提としない抽象的因果は、時間的領域や空間的領域といった、時空間内の因果概念自体を基礎付けるためのものでもある。これは因果だけでなく、それまで時空間を前提としていた現象や経験といった従来の概念そのものを捉え直す必要性すら示唆しているのではないだろうか……。

5 新たな経験科学の世界像へ……改めて実在とは？

因果、構造と様々に異なった要素を根拠としてきた科学的実在論

の矛先は今後どこに向かうだろうか。私が本論文で示したのは、因果が抽象化や理論化にとつての対極的な概念ではなく、時空概念を越えた上で抽象化の先にある基本的枠組みであるという可能性である。実際に我々は、抽象化されたモデル内の理論的対象以上に、直接触れたり動かしたりできるものに直観的な実在性を感じることが多い。これが日常的な形而上学であり、我々が何かを認識する際に、一階の性質は非常に信頼性を伴っていることは確かである。戸田山も帰結している通り、チャクラバティの検出性質を基に2章で挙げたギャリーの観点的な実在概念を取り入れた構成的実在論は、現代科学を考慮した科学的実在論と反実在論の論争的な経緯を踏まえた上で、折衷的な最小の科学的実在論と言えるかもしれない^{★43}。しかし、私はこの因果性と抽象性の対極的な位置付け自体に新たな切り込みを入れたわけである。

抽象化された因果概念によつて多くのパラダイムに再考の余地が生まれる。因果が経験的事実に基づいているという前提に立つのであれば、この経験的事実という概念自体がもはや抽象的なものかもしれない。時空が定義できる前の段階のミクロな世界（領域）においては、暗殺者のピストルの銃弾が政治家の胸を貫くといった具体的な因果はない。因果の先行を表す要素同士の間係が時空概念を作り上げ、そこによりやく政治家の死とピストルの発砲という一連の日常的な因果の束が出来上がる。実験室の電子の操作であれ、政治家の暗殺であれ、因果が経験的事実を記述するならば、経験という概念自体が遥かに抽象的なものなのかもしれない。

因果が時空を前提にしないのであれば、経験的事実や現象も同様に時空を越えるかもしれない。4-1で述べた因果を備えた光子は、空間には位置付けられないが、それを伴う光電効果といった物理現象や観測結果はあくまで時空内の観測に基づいている。しかし、4-2の抽象化された因果概念においては、そもそも経験や現象といった物理的プロセスそのものが極めて曖昧である。これは言わば物理学の伝統において、因果以上に経験や現象そのものが時空を前提にした上での概念であるがゆえであり、時空を越えた因果を本格的に提唱することは、経験や現象の根源的意味の問い直しにも繋がるのである。⁴⁴

この抽象的な世界像によって、因果的に不活性とされてきた多くの数学的構造やモデル内の対象の実在は、少なくともこれまで以上に説得力を持つのではないだろうか。構造实在論の主張する実在は、ミクロな世界そのものが抽象的な因果構造に基礎付けられているという描像によって一層力を増す。実際に因果集合論は要素間の因果関係の構造そのものであり、これが物理世界の実在の根幹を成しているという主張は、構造实在論そのものである。もちろん、この場合に物理的な構造を単なる数学的な構造と区別する何かしらの経験的事実の定式化が必要であろうが、⁴⁵そのための布石として、因果性と抽象性の融合、すなわち現状は相反する概念の根本的な見直しを本論文において提起したのである。

これは、ある意味構造实在論が構造的経験主義などから指摘を受けていた、物理的内容としての因果構造と数学的な抽象的構造との

間のジレンマを解決する描像でもある。実在する抽象的な因果構造は、数学的にモデル化された普遍者として、モデル内に実在しているだけでなく、それを例化する個別者としても物理的に実在しているという立場がようやく取れる。すなわち時空領域を逸脱した抽象的な領域は、決して説明のためのモデルや認識ツールの世界ではなく、れっきとした物理的領域と見なせるのである。これにより、存在的構造实在論が掲げる抽象的構造と物理的構造との隔たりも大きな問題にはならなくなる。というのも抽象的構造は因果構造、すなわち物理的構造そのものであると主張できるからである。すなわち、抽象的な存在者を疑いがちな哲学に、物理学の見解からの一種の擁護が可能となるのだ。

さて、この時空を越えた領域の登場により、新たなパラダイム転換も近いのかもしれない。冒頭で挙げた浜崎あゆみの「surreal」は「どこにも無い場所」に「私」という普遍性を見出していった。この「どこにも無い場所」とは、ユートピアのような神秘的な領域ではなく、実は本来の物理的な領域であることを現代科学は語っているのだ。もはや、触つて動かせる対象の存在が特権を持つ時代は過ぎ去ったのかもしれない。因果を抽象化することで、科学的実在はさらに多くの存在領域に拡張できる可能性を秘めていることを一言最後に強調しておく。

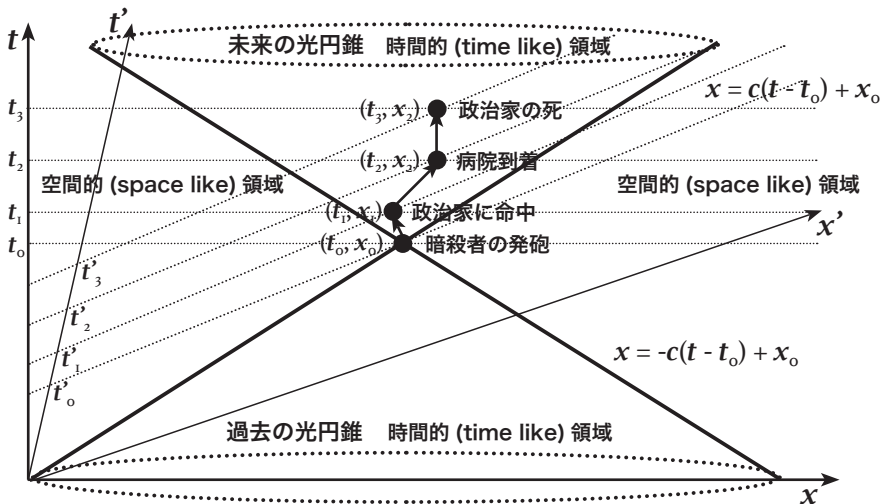


図 1：ミンコフスキー時空中における因果：光円錐内の暗殺者の発砲～政治家の死までの事象の因果は、どの座標系で見ても同じ時間順序となる。

(t, x) 座標系 ... $t_0 \rightarrow t_1 \rightarrow t_2 \rightarrow t_3$, (t', x') 座標系 ... $t'_0 \rightarrow t'_1 \rightarrow t'_2 \rightarrow t'_3$

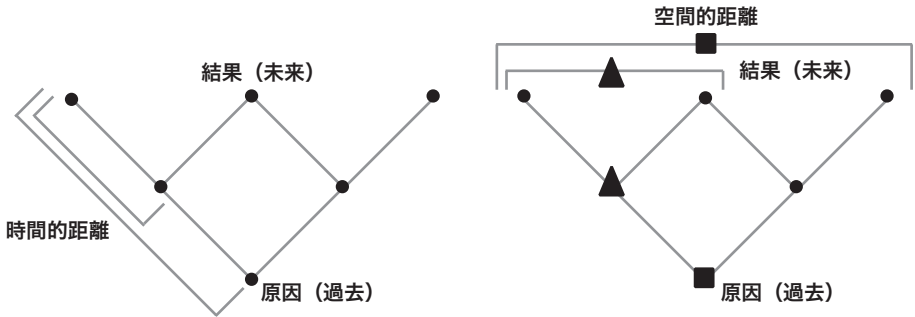


図 2：因果集合による時空の基礎付け：半順序で示された二項関係のみを持つ要素同士の抽象的な関係から従来の具体的な因果概念を構築している。左の集合では \leq の関係を持つ要素同士の最短経路（線分 1 本と 2 本分）が時間的距離（従来の因果関係）を、右の集合では共通原因を経由した要素同士の最短経路（線分 2 本分と 4 本分）が空間的距離を創発している。

- (2012)『重力とは何か——アインシュタインから超弦理論へ』宇宙の謎に迫る——』幻冬舎。
- ★7 有名なのは一般相対性理論におけるゲーデル解のような、回転する物質場によって時間がループするモデルであろうか。このモデルでは時間曲線が円軌道を描き、時間が周回するために、原因と結果の時間順序に続き、やがに元の原因に到達する可能性を示唆している。Kurt Gödel (1949). An example of a new type of cosmological solution of Einstein's field equations of gravitation. *Rev. Mod. Phys.* 21 (3), pp. 447-450.
- ★8 Ronald Giere. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach*. Chicago: University of Chicago Press. Id. (2004). How Models Are Used to Represent Reality. *Philosophy of Science* 71(5), pp. 742-752.
- ★9 Nancy Cartwright. (1983). *How the laws of Physics Lie*. Oxford University Press.
- ★10 戸田山和久(二〇一五)『科学的事在論を擁護する』名古屋大学出版会、二四五頁。
- ★11 科学そのものに関する分析として、理論に対する言語的アプローチから意味論的アプローチが好まれるようになった一般的な流れには、二〇世紀前半の科学哲学の前進である論理実証主義の反省を主軸とした壮大な議論的転換がある。詳しくは例えば戸田山(二〇一五)、二三七〜二五八頁「第10章公理系アプローチからモデル中心の科学観へ」を参照のこと。直前の本文における引用箇所も含まれている。
- ★12 Max Black. (1962). *Models and Metaphors: Studies in Language and Philosophy*. Cornell University Press.
- ★13 戸田山(二〇一五)、二五一頁。
- ★1 Harry Field. (1980). *Science Without Numbers*. Princeton: Princeton University Press, p. 43.
- ★2 David Hume. (1748). *An Enquiry Concerning Human Understanding*. Tom I. Beauchamp (ed) New York: Oxford University Press. U.S.A. (1999). Part II, Section VII.
- ★3 David Lewis. (1974). Causation. *Journal of Philosophy*, 70(17), pp. 556-567.
- ★4 Wesley C. Salmon. (1984). *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*. Princeton: Princeton University Press. 例えは一見互いに依存性がなく、本来は同時には起こりにくいはずの二つの事象が共に起こる場合に、それらの共通原因が根底にあり、二事象が引き起こられてくるという、条件付き確率を用いた説明などは pp. 163-164 を参照のこと。この条件付き確率による説明はこの後の本文に続く科学における因果概念の話とも深く関連している。
- ★5 David Hume. (2007). *A Treatise of Human Nature volume 1*. D. F. Norton & M. J. Norton (Eds). Oxford University Press. 13.6 (T.3.6) を参照のこと。
- ただし、この文献の中でも触れられているように、「ヒューム自身が実験的推理法によって因果推論をおこなっていたことから、実際には帰納法を信頼していたという様々な再解釈もある。澤田和範(二〇一四)「ヒュームの自然主義と因果推論の正当化問題」『哲学論叢』四一号、三五頁。
- ★6 教科書としては、例えば Mat Visser. (1996). *Lorentzian Wormholes: From Einstein to Hawking* (ADP Series in Computational and Applied Mathematical Physics), American Institute of Physics を参照のこと。
- 反粒子と時空に関しては邦書で読みやすい文献もある…大栗博司

- ★14 Stathis Psillos. (2010). *Scientific Realism: Between Platonism and Nominalism*. *Philosophy of Science*, Volume 77, No. 5, pp. 947–958, p. 956.
- ★15 Basitjan van Fraassen. (2006). Structure: Its Shadow and Substance. *British Journal for the Philosophy of Science*, 57, pp. 275–307, p. 304. ファン・フラアーセンの構成的経験主義は、科学哲学において観察不可能な理論の対象の存在に関して不可知論を取る、代表的な反実在論的立場である。著作 *The Scientific Image*, (1980), Oxford: Oxford University Press を参照のこと。
- ★16 Basitjan van Fraassen. (2006). p. 305.
- ★17 戸田山和久 (二〇〇五) 『科学哲学の冒険——サイエンスの目的と方法をさぐる——』、日本放送出版協会、一五〇頁より、戸田山が知識テーゼを導入。知識テーゼを認めるか否かで、科学的事実論と反実在論を分類している。この知識テーゼは、我々の認識とは独立に世界に対象や構造が存在しているという独立テーゼと対比されている。
- ★18 構造実在論の源流は一九二〇世紀初頭に哲学者のみならず、数学者でもあり、理論物理学者でもあったアンリ・ポアンカレ (Henri Poincaré) の名著『科学と仮説 (Science and Hypothesis)』(1902) に述べられており、科学の世界に対する認識の不完全性と関連付けられている。この教義を基に、後に述べるジョン・ウォラル (John Worral) は新しい科学理論が古い理論に取って替わる理論変化の際に、対象そのものではなく、対象の關係的な性質こそ科学は正確に捉えているという認識的構造実在論を提唱することになる。
- 一方で、ジェームズ・レディマン (James Ladyman) は、量子物理学に登場する物質を構成しているときれる粒子やそれらをモデル化した粒子系が、様々な意味において古典的な(常識的な)物体をモデル化した系には無い性質を備えていることより、そもそも個々の粒子を独立した個物 (individual) のように捉えて良いのかどうかという問いも含めた上で、従来までの対象を基礎的だと捉えるスタンスからの脱却を意図して、存在的構造実在論を展開している。James Ladyman. (1998). What is Structural Realism? *Studies in History and Philosophy of Science* 29, pp. 409–424. 以降、これらの議論を主軸にしながらも、構造実在論は様々な観点で多義的に議論やれつく。例えば Landry, Elaine & Rickles, Dean (eds), (2012). *Structural Realism: Structure, Object, and Causality*. Springer. を参照のこと。
- ★19 John Worral. (1989). Structural Realism: The Best of Both Worlds? *Dialectica*, 43, pp. 99–124.
- ★20 Worral. (1989) pp. 119–120. () の中身は補足した。
- ★21 Worral. (1989) p. 119.
- ★22 Worral. (1989) p. 120.
- ★23 戸田山 (二〇一五) 二一〇頁。
- ★24 表現自体は戸田山 (二〇一五) 二二二頁より。存在的構造実在論の対象に関する議論に関しては、Ladyman (1998) の他に、Steven French & James Ladyman. (2003). *Remodelling structural realism: Quantum physics and the metaphysics of structure*. *Synthese*, Vol. 136, pp. 31–56. Steven French. (2010). The interdependence of structure, objects and dependence. *Synthese*, 175, pp. 89–109 を参照のこと。
- ★25 Anjan Chakravarty. (1998). *Semirealism, Studies in History and Philosophy of Science*, 29, pp. 391–408. Chakravarty. (2007). *A Metaphysics for Scientific Realism: Knowing the Unobservable*. Cambridge: Cambridge University Press を参照のこと。前者では主に対象と構造に関する検出性質に力点を置く実在論として、後者では認識的構造実在論

と存在論的構造実在論の両問題点を解決する構造実在論の一種として、半実在論が提唱されている。

★26 Chakravartty. (1998) pp.394-395 において、検出性質と補助性質のそれぞれが説明が導入されている。

★27 Nancy Cartwright. (1983). 戸田山 (二〇〇五・二〇一五) でも引用。

★28 Nancy Cartwright. (1983). 同じく戸田山 (二〇〇五・二〇一五) でも引用。カートライトは、基本法則に関しては反実在論、現象論的法則に関しては実在論というスタンスで、理論が述べる対象の性質は厳密には正しくないが、対象自体は実在していると主張している。これは、対象以上に抽象的構造に重きを置く構造実在論とは正反対の、対象実在論と呼ばれる立場である。

★29 電磁場や重力場の存在論的な取り扱いに関しては、例えば Tian Cao. (1997). *Conceptual Developments of 20th Century Field Theories*, Cambridge: Cambridge University Press を参照のこと。

★30 科学哲学の議論では、二つの異なる科学理論がいずれも経験的な(具体的な)内容の説明には成功している場合、いずれが優れた理論であるかを判断する基準として、理論の包括性等が挙げられることがある。Thomas Kuhn. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press.

★31 藤田翔 (二〇二〇)「構造的解釈から見た時空の創発———どうして時空原子は時空ではないのか?———」『科学基礎論研究』四八巻一号、一〜一九頁、七頁。

★32 藤田翔 (2021)「唯名論者によつての抽象性：時空領域の外側の物理世界」*Contemporary and Applied Philosophy*, Vol. 13, pp. 14-17。

★33 Stathis Psillos. (2010). *Scientific Realism: Between Platonism and Nominalism*, *Philosophy of Science*, 77 (5), pp. 947-958.

★34 シロスはモデルが、理想化や抽象化を伴う過程ではなく、その結果として世界や現象の特定の重要な側面を説明するための産物 (product) という役割を担っていることに着目し、単なる表象ではなく、説明的であるべきことを強調している。Stathis Psillos. (2011). *Living with the Abstract: Realism and Models*, *Synthese*, 180 (1), pp. 3-17, p. 16.

★35 Psillos. (2010). p. 951 など。NMAOS については Michael Dummett. (1999). *Frege: Philosophy of Mathematics*, London: Duckworth に依つて物理的な抽象的存在者 (physical abstract entities) という表現も使われている。Psillos. (2011). p. 8.

★36 同じく Psillos. (2010). p. 951 より。

★37 現代の唯名論としては、註1で挙げた Field. (1980), Field. (1990), John Burgess & Gideon Rosen. (1998). *A Subject With No Object: Strategies for Nominalistic Interpretations of Mathematics*, Oxford: Oxford University, Stephan Yablo. (2001). *Go Figure: A Path through Fictionalism*, *Midwest Studies in Philosophy*, 25, pp. 72-102, Christopher Pincock. (2007). *A Role of Mathematics in the Physical Sciences*, *Noûs*, 41 (2), pp. 253-75. などを参照のこと。数学の哲学と形而上学の両文脈で、抽象的な数学の対象や構造の存在論が議論されている。

★38 藤田 (2021) p. 164.

★39 例えば Christian Wüthrich. (2019). *The emergence of space and time*, in Sophie Gibb, Robin Finlay Hendry and Tom Lancaster (eds.), *Routledge Handbook of Emergence*, London: Routledge; 1 edition, Chapter 25 を参照のこと。

★40 Sam Baron & Baptiste Le Bihan. (2023). *Causal Theories of Space-*

time, *Notis*, pp. 1-23.

★41 Baron & Le Bihan. (2023). p.9: The Non-Identity Causal Theory.

★42 半順序では推移性、反対称性に加えて $A \wedge A$ という、反射性も満たしているが、 A が A 自身の原因であるという直観をどのように処理するかに関しては、例えば \wedge ではなく、敢えて \wedge を持ち出して、反射性を満たさない狭義半順序を用いた因果モデル ($E \rightarrow A$) によって、元の因果モデルと経験的な等価性に訴える方法なども考察されている： Christian Wüthrich. (2012). The structure of causal sets. *Journal for General Philosophy of Science*, 43(2), pp. 223-241. pp. 235-237. *

た、推移性、反対称性、反射性といった数学的条件に加えて、離散的な因果集合には濃度が有限の値になるという、局所有限性も備わっていることを付け加えておく。

★43 戸田山 (二〇一五) 二八一〜三〇六頁「第12章 擁護に値するミニマルな実在論」を参照のこと。

★44 時空の創発から帰結されるこれらの科学哲学的な問題に関しては、例えば Nick Huggett & Christian Wüthrich. (2013). Emergent spacetime and empirical (in)coherence. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 44, pp. 276-285. を参照のこと。次の脚注で提示しているティム・モードリンの指摘とも大いに関わっている。

★45 ティム・モードリン (Tim Maudlin) は、物理的な構造というものが、時空領域に位置付けられる局所的な存在 (local beables) を伴ってきたことに触れている。すなわち、local beables を介して理論を経験と結び付けている伝統的な科学的スタンスに関して、もし局所的な構造を基礎的としないのであれば、それと同型的な何らかの物理的な特徴 (physical salience) の実態を捉えない限り、物理的な構造を数学的な構造と切り分けるのは難しいということを示唆

つじこせを思われる： Tim Maudlin. (2007). Completeness, supervenience, and ontology. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, 40 (12), pp. 3151-3171.

ふじた・しょう (科学哲学)