

Woodward 「メカニズムとは何か？——反事実説」（2002）

Woodward, J., 2002, “What Is a Mechanism? A Counterfactual Account,” *Proceedings of the Philosophy of Science Association* 2002 (3): S366–77.

紹介

メカニズム概念の重要性を認めた上で、それを自らの因果論と説明論における鍵概念である「介入の下での不変性」を用いて適切に特徴づけることができると主張する論考。因果関係と反事実的条件文との関係、他の学説との比較、モジュール性条件についても論じている。

概要

本論文は、MDC によるメカニズム論を下敷きにしつつ、メカニズム概念や、それと密接に関連する産出概念が、「介入の下での不変性」（介入不変性）の観点から適切に特徴づけられることを主張する。介入不変性の概念は、著者 Woodward が因果や説明の概念を特徴づけるために提案しているもので、それを応用するかたちでメカニズムを論じている。物理学（力学）や生物学（分子生物学）の例を用いて、因果的一般則と非因果的一般則を区別するために法則概念よりも介入不変性概念に訴えるべきであること、保存量伝達説（Salmon–Dowe）やボトムアウト動作説（MDC）よりも介入不変性説の方が適切に因果性を特徴づけられることなどを、反事実的条件文の支持の問題などに関連づけながら論じている。また、最後の部分では、メカニズムの構成要素がモジュール性を持たねばならないことを指摘している。

1. はじめに（pp. 366–7）

- ・説明の構築や因果の識別は、メカニズムの発見と密接な関係にある。
- ・説明関係や因果関係を介入の下で不変的（invariant under intervention）な関係と結びつける着想¹は、メカニズム概念の特徴づけにも用いることができる。
- ・Machamer・Darden・Craver（以下 MDC）は、次のようにメカニズムを特徴づけている。
 - メカニズム：開始条件から終了条件に至る規則的変化を産出するよう組織化されたモノと動作²。
 - メカニズムの記述が説明的なのは、「産出関係」（productive relation）を明らかにするから。
 - 或る領域の現象を「可解」（intelligible）にすることは、「或る分野の基礎的な（ボトムアウトの）モノと動作の観点からメカニズムを描出すること」と関係がある。
- ・「メカニズム」や「産出」の概念を、より一般的で分野特定のでないような仕方で特徴づけることができないか検討してみる価値がある。

¹ 介入主義（interventionism）として知られる、説明と因果の定義に関する Woodward の学説。

² Machamer, P., L. Darden, and C. Craver, 2000, “Thinking about Mechanism,” *Philosophy of Science* 46: 523–44.

2. 物理学の例（pp. 367–9）

- Ex1：斜面を滑り落ちるブロック（右図）。

– ブロックは2つの力を受ける：重力と摩擦力。

– 摩擦力 F_k は次の式にしたがってかかる：(1) $F_k = \mu_k N$ 。

> μ_k は動摩擦力の係数。

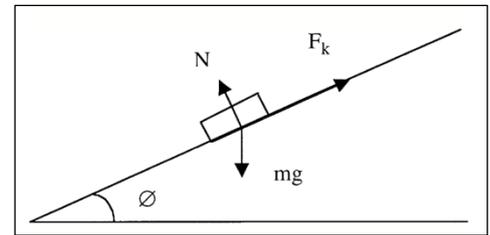
> N はブロックの運動方向に対して垂直にかかる抗力。

– 斜面に沿ってブロックにかかる重力は $mg \sin \phi$ 。

– 抗力 N は $mg \cos \phi$ なので、 $F_k = \mu_k mg \cos \phi$ 。

– 斜面に沿ってブロックにかかる合力：(2) $F_{\text{net}} = mg \sin \phi - \mu_k mg \cos \phi$ 。

– ブロックの加速度：(3) $a = g \sin \phi - \mu_k g \cos \phi$ 。

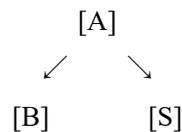


- 他のメカニズムの場合と同様，上記の例は「規則的変化を産出する」(MDC) 要素から成る。
 - 規則性を記述する一般則のすべてが，産出関係や因果関係を記述しているわけではないことに注意。
 - > よく知られた例：気圧計の示度 B と嵐の生起／非生起 S の相関。（いずれも気圧 A が原因）
- 因果的でない規則性を排除する戦略として哲学者に好まれるのは、「法則」概念に訴える方法。
 - たとえば，Glennan（1996: 52）は，メカニズムを法則概念によって特徴づけている³：
 - 「振る舞いの基底にあるメカニズムとは，諸々の部分が直接的因果法則（direct causal law）にしたがって相互作用することによって当該の振る舞いを産出するような複雑な系である」
 - Glennan によれば， B と S の相関は「直接的因果法則」ではないため産出的でない。
 - > これに対して，(1)などは法則であり，産出的である。
- しかし，法則概念は，メカニズムの特徴づけに対して非常に限定的な有用性しかもたない。
 - ほとんどのメカニズムは，法則概念によって特徴づけられない。
 - 哲学者が法則に要求する特性と，メカニズムの作動を特徴づける一般則に大きな齟齬がある。
- 法則は，Maxwell 方程式や重力場の方程式を典型とする，適用範囲に例外のない一般則とされる。
 - Ex1 の式はそうした特性を欠いている。
 - > 地球の地表付近でしか成立せず，地表付近においてさえ近似的にしか成立しない。
 - また，(1)は特定の実験的状況設定において正しかったとしても，容易に破綻させられる。
 - > たとえば，斜面にグリスを塗ったりヤスリをかけたりすればよい。
- たしかに，(1)のような一般則は，伝統的に法則に帰属されてきた或る特性を持っている。
 - それは，反事実的条件文を支持するという特性である。
 - > たとえば，「もし垂直抗力が変化したら，摩擦力はどう変化するか」ということに関するもの。
 - しかし，「反事実的条件文を支持する」というだけでは，(1)と非因果的一般則を区別できない。
 - > B と S の相関に関する一般則も，或る種の反事実的条件文を支持する。
 - メカニズムの作動を説明する際に，なぜ，(1)のような一般則に訴えることはできて， B と S の相関に訴えることはできないのかということ进行分析しなければならない。

³ Glennan, S., 1996, "Mechanisms and the Nature of Causation," *Erkenntnis* 44: 49–71.

3. 介入と不変性 (pp. 369–71)

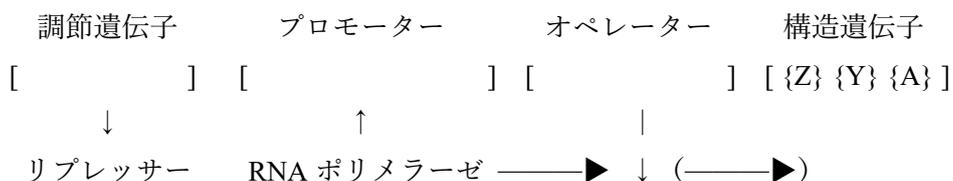
- ・メカニズムが規則的变化を産出するものだとし、そこでいう「産出」とは何か。
- ・介入の下での不変性（略して「介入不変性」）という観点から、産出関係を理解することができる。
 - 変数 X と Y が、それぞれ2つ以上の値をとり得るとする。
 - 介入概念は、X が Y の原因かどうかを確定するために実行される、X に対する理想的な実験的操作が満たすべき条件を与える。（X が Y の原因が否かを確定するために実行されるべき実験）
 - Y に関する X への介入とは、X の値を変化させる操作であり、もしそれにより Y が変化するならば X を通してのみ Y を変化させるのであって、他の経路で Y を変化させることのないようなもの。
 - 介入は、Y の原因のうち、XY 間の因果経路上にないものとは相関してはならず、また、X から独立に Y に影響を与えるものであってはならない。
- ・気圧計の例での B と S との関係について考える。（B が S の原因かどうかを考える場合）
 - A を操作することで B を変化させることは、S に関する B への介入とはいえない。
 - >A は、B とは独立に（B を通さずに）S に影響を与えるため。
 - 乱数生成器でランダムに数値を決めて、それにしたがって B の値をセットすれば介入といえる。
 - S に関する B への介入をした場合、B と S の相関は消えるだろう。（気圧計の針は嵐を呼ばない）
 - >このとき、「B と S の相関は介入の下で不変でない」という。（介入すると失われるため）



- ・X と Y を関係づける一般則 G が因果的（MDC の用語では「産出的」）な関係を記述しているなら、G は X に対する何らかの（すべてでなくてよい）介入の下で不変でなければならない。
 - つまり、G を消失させないような、Y に関する X への介入が少なくとも1つあればよい。
 - Ex1 の(1)は、N の値を変化させる一定範囲の介入の下で不変なので、因果的（産出的）といえる。
 - 同様に、斜面に沿ってブロックにかかる重力の式 $F = mg \sin \phi$ も因果的な一般則といえる。
- ・介入不変的な関係は（潜在的に）操作における有用性を持つ。
 - Y の値を操作したいときに、（不変性が維持される範囲内で）X の操作を通してそれができる。
 - >N の値をコントロールすることで F_k の値をコントロールすることができる。
 - >B の値をコントロールすることで S の値をコントロールすることはできない。
- ・ここで見た学説は、因果関係は反事実的条件文を支持するが、非因果的な関係は支持しないという伝統的な議論の正しい部分を捉えているように思われる。
 - (1)のような一般則は、介入の下で生じる変化に関する反事実的条件文を支持する。
 - B と S の相関を記述する一般則は、別の種類の反事実的条件文は支持するが、(1)が支持するようなもの（介入主義的反事実的条件文、略して「介入的反事実」）は支持しない。
- ・一般則が介入不変的であるかどうかは、伝統的に法則性に帰されてきた特性とは独立。
 - たとえば、適用範囲に例外があるか否かとは無関係に、一般則は介入不変的であり得る。

4. 産出と反事実的依存（pp. 371–4）

- ・上で論じた学説と別の魅力的なアプローチとを区別するために、新たに生物学の例を導入する。
 - 別の魅力的なアプローチとは、すべての因果的産出の基底にある経験的特性を探すアプローチ。
 - ＞候補：保存量（エネルギーや運動量など）の伝達⁴。（Salmon–Dowe）
- ・大腸菌（E. coli）の lac オペロンモデル。（Jacob & Monod）
 - 大腸菌は、環境内にラクトースが存在するとき、それを分解する酵素を生成する。
 - Jacob & Monod のモデルによれば、それらの酵素をコードする 3 つの構造遺伝子と、構造遺伝子への RNA ポリメラーゼの到達をコントロールするオペレーター部位が存在する。



- ラクトースがないとき：調節遺伝子によってリプレッサー（タンパク質）が生成され、生成されたリプレッサーが構造遺伝子のオペレーターと結合することで転写を阻止している。
- ラクトースがあるとき：リプレッサーがアロラクトースと結合することで不活性化し、オペレーターと結合することを阻止されるため、構造遺伝子の転写が進行する。
 - ＞生物学的には「ネガティブコントロール」と呼ばれる上述の過程は、哲学的には「二重阻止」（double prevention）や「切断による因果」（causation by disconnection）と呼ばれるものの一種。（Hall 2004）⁵
- ・上述の例において、Salmon–Dowe の分析は、因果（産出）関係を適切に捉えられない。
 - アロラクトースの存在と酵素の生成との間には、因果関係はあるが、エネルギーの伝達はない。
 - また、アロラクトースと酵素生成の関係は、あまりに局所的かつ例外だらけのため法則でもない。
- ・lac オペロンの例（二重阻止）は、因果関係ないし産出関係の介入不変性条件を満たす。
 - こうしたケースにおいては、エネルギー伝達説や法則説よりも介入不変性説の方が適切に産出の意味を捉えることができる。
- ・因果関係・説明関係・メカニズムを記述する分子生物学理論は、（潜在的な）操作に関わる情報を与えるという考えは、分子生物学者自身によっても認められている。（Weinberg 1985）⁶

⁴ 因果の（物理的）プロセス説として知られる学説のうち、特に保存量に訴える立場。プロセス説以外の候補として本論文ではMDCの「ボトムアウト動作」説も挙げられているが、ここでは割愛する。

⁵ Hall, N, 2004, “Two Concepts of Causation,” in L. Collins, N. Hall, and L. A. Paul (eds.), *Causation and Counterfactuals*, MIT Press, pp. 225–76. (ただし、本論文出版時点では未公開のため“forthcoming”表示。)

⁶ Weinberg, R., 1985, “The Molecules of Life,” *Scientific American* 253 (4): 48–57.

5. モジュール性 (pp. 374–6)

- ・メカニズムの構成要素は、他の要素の振る舞いに干渉することなく、1つの要素を変化させることができるという意味での独立性を（原理的に）持っていなければならない。
 - この種の独立性をモジュール性という。
 - これは、実践的に可能である必要はなく、原理的に可能であればよい。
 - >仮に適切な介入が個別の要素に対してなされたならば、この種の独立的可変性の条件を満たすだろうという意味。
- ・Ex1におけるモジュール性。
 - Ex1の機構は2つの構成要素から成る：重力と摩擦力。
 - モジュラー性条件によれば、もしそれら2つの要素が真に別個のものならば、それぞれを決める関係は独立に変化し得るのでなければならぬ。
 - 実際、Ex1の機構はモジュラーである。
 - >たとえば、(1)の関係は、ブロックと斜面の接触面の状態をグリスなどによって変えられるが、この際、動摩擦係数が変化しても、ブロックにかかる重力を決める一般則は変わらない。
- ・上述の議論から次のように提案できる。
 - MECH**：或る表現がメカニズムの許容可能なモデルであるための必要条件は以下である：その表現が、(i)組織化ないし構造化された構成要素を記述しており、(ii)各要素の振る舞いを介入不変的な一般則によって記述しており、(iii)各要素を決める一般則が独立的可変的であり、(iv)その表現が、(i)(ii)(iii)のために、各要素へのインプットの操作や各要素それ自体の変化の下でメカニズム全体としてのアウトプットがどのように変動するかを教えるものになっていること。
- ・モジュール性は、Darden (2002)⁷が「モジュラーなアブアセンブリ（組立部品）」と呼ぶものと密接につながっている。

6. おわりに (pp. 376–7)

- ・**MECH**によって特徴づけられるのとよく似たメカニズム概念は、他の（力学や分子生物学以外の）多くの科学分野（たとえば心理学）でも用いられていると思われる。

⁷ Darden, L., 2002, “Strategies for Discovering Mechanisms: Schema Instantiation, Modular Subassembly, Forward Chaining/Backtracking,” *Philosophy of Science* 69 (S3): S354–65.