

# Process Theory of Causality and the Causal Markov Condition

Jun Otsuka

Department of Philosophy, Kyoto University · Riken AIP

近年、因果グラフ理論のオルタナティブとして、圏論(対称モノイダル圏)とその視覚的表現であるストリング図を用いた因果モデリングの手法(いわゆる「プロセス理論」)が提案されつつある(e.g. Jacobs et al. 2019)。本発表では、プロセス理論の基本的な枠組みを紹介するとともに、その哲学的な特徴づけを行う。プロセス理論では、因果関係を、相互に繋がれたメカニズムのネットワークとして表す。これらのメカニズムは一定の入力に対して、出力を返す「ボックス」として表される。入出力のラインは「結線 wire」によって表され、あるボックスからの出力線が、型を同じくする他のボックスに繋がれることにより、因果関係が表される。このように表された因果関係をストリング図 **string diagrams** という。因果グラフが、対象の性質や出来事間の(因果的)規則性を表現するものであるのに対し、ストリング図は因果性プロセスとしての側面(e.g. Salmon 1984)を強調した表現であるといえる。

プロセス理論は、因果マルコフ条件の成否をめぐる哲学的論争に一つの見方を与える。プロセス理論においては、個々の因果モデルは上のように構築されたストリング図(これらは一つの圏を構成する)から、他の圏、例えば変数の値を示す有限集合と条件付き確率を示す確率行列からなる圏 **FinStoch** への関手 **functor** として表される。このとき、**copier** と呼ばれる特定のメカニズムを認めるかどうかによって、得られるモデルが因果マルコフ条件(とくにの主要部である共通原因原理)を満たすかどうかが決まってくる。よって、マルコフ条件の成否は **Copier** メカニズムの存在に依存することになる。では、**Copier** メカニズムはどのようなときに存在するのだろうか、またその存在は哲学的にどう解釈されるのだろうか。当日発表ではこの点について考察を行うことで、プロセス理論の哲学的含意を引き出すことを目指す。

The past decade has seen a raise of alternative approach to causal modeling called *process theory*, which uses category theory (more specifically, symmetric monoidal categories) and their visual representation called *string diagrams* to represent causal structures (e.g. Jacobs et al. 2019). This talk introduces the basic framework of process theory and analyzes it from a philosophical standpoint. Process theory models causation as a network of interconnected mechanisms. These mechanisms are represented as "boxes" that return outputs for given inputs. Boxes are connected to each other with "wires" of a matching type to form a causal structure. Networks consisting of such boxes and wires are string diagrams. While a causal graph expresses the (causal) regularities among the properties of objects or events, a string diagram emphasizes the aspect of causality as processes, whence the name of the theory (e.g., Salmon 1984).

Process theory sheds new light on the philosophical debate over the legitimacy of the causal Markov condition. In process theory, individual causal models are represented as functors from a category of string diagrams to another symmetric monoidal category such **FinStoch**, the category of finite sets (representing values of variables) and stochastic matrices (representing conditional probabilities). It is known that the resulting model satisfies the causal Markov condition (more specifically the principle of common cause) only when the category of string diagrams contains a particular mechanism called *copier*. This observation naturally leads to the questions: when does the copier mechanism exist, and how is its existence interpreted? The presentation discusses these points in order to draw out the philosophical implications

of process theory.

Cartwright, N. *The Dappled World*. (Cambridge University Press, 1999).

Jacobs, B., Kissinger, A. & Zanasi, F. Causal Inference by String Diagram Surgery. in *Foundations of Software Science and Computation Structures* 313–329 (Springer International Publishing, 2019).

Salmon, W. C. *Scientific Explanation and the Causal Structure of the World*. (Princeton University Press, 1984).

Spirtes, P., Glymour, C. & Scheines, R. *Causation, Prediction, and Search*. 565 (The MIT Press, 1993).

Pearl, J. *Causality: Models, Reasoning, and Inference*. (Cambridge University Press, 2000).