

集合的予測符号化仮説によるパラダイム論のモデリング

大塚 淳 (Jun Otsuka)・林 祐輔 (Yusuke Hayashi)・谷口 忠大 (Tadahiro Taniguchi)

ZEN大学・AI アライメントネットワーク・京都大学

本発表では、Taniguchi et al. (2025)で提案された集合的予測符号化による科学モデル (collective predictive coding as model of science; CPC-MS)を用いることで、トマス・クーンの科学観、とりわけパラダイム・シフトを形式的にモデル化することを目指す。

CPC-MSは、科学の営みを分散的なベイズ推論を行うマルチエージェント系としてモデル化する。具体的には、各科学者は部分的な観測に基づいて自らの内部表象を形成・更新し、その内容を論文執筆や発表といった外化プロセスを通して外部表象として提示する。他の科学者はこの外部表象を査読・批判し、自らの内部表象と照合することで、コミュニティ全体として一貫した共有的外部表象が構築・修正されていく。この過程は、集合的予測符号化仮説 (CPC)のもとで言語や記号体系が創発するダイナミクスと同型であり、科学知識の社会的客観性やその変容を自由エネルギー最小化の観点から形式化する枠組みを与える。

一方、クーンは『科学革命の構造』において、科学を断片的なプロセスとして描き出した。クーンによれば、科学では「通常科学」と呼ばれる安定した研究活動の時期と、「科学革命」と呼ばれる知的枠組みの急激な転換の時期とが交互に現れる。通常科学において研究者は既存のパラダイムを前提に「パズル解き」に従事するが、観測事実と理論的枠組みのあいだに矛盾や「異常」が蓄積すると、既存のパラダイムは危機に陥る。このとき、従来の理論では説明できない現象を解消するために新しいパラダイムが提案され、研究者コミュニティがそれを受容すると「科学革命」が生じる。このようにクーンの描く科学の営みは、連続的な漸進ではなく、断続的な安定と不連続な転換のダイナミクスを特徴とする。

本発表の目的は、こうしたクーン的な科学のダイナミクスを、CPC-MS上でモデル化することである。CPC-MSにおいて科学活動は、逐次的な自由エネルギー最小化のプロセスとして理解される。この過程において、科学理論全体としての予測能力が高まっていく。安定した局面においては、この自由エネルギー最小化はなだらかな多様体上の最適化過程として記述でき、これはクーンのいう「通常科学」に対応する。しかし各エージェント間の結合が複雑で非線形的になると、特異点が発現することがある。特異点学習に関する先行研究からは、このときシステムがある谷から別の谷へと離散的にジャンプすることが示されている。この離散的なジャンプこそが、クーンのいう「パラダイム・シフト」に対応する。

この見方は、クーンのパラダイム論、特にパラダイム間の通約不可能性に関する新たな含意を与える。CPC-MSにおける事後分布の急激な変化は、科学者が用いるボキャブラリーを一変させることで、変化の前後の科学者のコミュニケーションを困難にする。その一方で、自由エネルギーの最小化 (つまり全体的な予測能力) という点では両者を比較することは依然可能であり、その点においては、新パラダイムは旧パラダイムより優れていると判断することが可能である。このように、CPC-MSの枠組みにおいては、パラダイム間の通約不可能性を認めつつ、両者の共通の土台を (自由エネルギーという観点から) 提供することが可能になる。

参考文献

Taniguchi T, Takagi S, Otsuka J, Hayashi Y, Hamada HT. (2025) Collective predictive coding as model of science: formalizing scientific activities towards generative science. *R. Soc. Open Sci.* 12: 241678