

ナノ電子フォトン系における機能の基本構造と圏論に基づく描像

Nano-optoelectronics functions; structure and picture based on category theory

○堀 裕和¹ (1. 山梨大院総研)

○Hirokazu Hori¹ (1. Univ. Yamanashi)

E-mail: hirohori@yamanashi.ac.jp

フォトン系と電子系の融合科学技術は、近接場光学、ナノオプティクス、ナノフォトニクス等の名のもとに、電磁場と物質電子系の振る舞いと相互作用を統合し、その機能を観測の問題、非平衡開放系、さらに階層構造を持つ複雑系としての広い観点から探索する新しい科学・技術領域を開拓してきた。マイクロとマクロのメゾスコピック領域において電子系とフォトン系の相互作用に基づく新機能発現を探究することで、多様な新機能を発現する可能性が幾多の例によって実証され、いまや四半世紀におよぶ開拓時代を終えて、これらを総合する段階に至っている。そこから得られた重大な知見は、『局所環境を構造化して揺らぎと散逸を制御し、機能を階層的にマイクロからマクロに接続することで、極めて多様な新機能発現の可能性が拓けること』である。これを機能の構造として体系化し、「機能とは何か?」という問題そのものを、機能の背景となる非平衡開放系やその階層構造と散逸構造やゆらぎ全体を明確に取扱う、新たな手法の構築が必要である。

従来の主要な物理概念は、対象とする系の完全性や無矛盾性を強く意識した理論体系に基づくが故に、かえって環境系のあいまいな取り扱いや、理想化され過ぎて現実とかけ離れたリザーバーの導入などを招来し、本質的に外界を含む非平衡開放系としての機能の構造を不明確にしてしまっている。一般に、わたしたちがそこに「価値」を認めることができるような機能構造は、素過程としての相互作用や輸送過程などの単体ではなく、時空概念を含む多様な要素の複合体である。本研究では、機能の基本構造をナノ電子フォトン系について体系化する方法を考察する。

機能構造の描像構築にあたっては、部分系の同値関係や無矛盾性に拘泥せず、広く非平衡系を含む機能構造の基盤となる諸現象をもらすことなく包含する構造として、対象間の準同型射に基づく関係性の柔軟な記述と、環境系を多様に繰り込み機能発現の様相を明確にできるホモロジーの取り扱いを中心に据えた、圏論 (category theory) を模範とし、そこから近接場光学の再構築と電子フォトン系の機能発現素過程の記述および意味付けを総合的に議論する。新機能を代表する粘菌計算機構等の機能構造と並行して考察を進め、従来のモデルとの比較や可能性の探索を行う。

散逸を基盤としロバストネスを特色とする古典デバイスにおいては、環境系が散逸を如何に促進するかが重要であり、相関を基盤とし超並列性を特色とする量子デバイスにおいては、環境系が散逸を如何に抑制するかが問題となる。機能の主体は環境系であり、その制御を如何に成し遂げるかが機能発現の必須要件となる。近接場光学の基盤は、波長スケールのマクロな振動電気双極子がナノスケールの振動電気双極子に変換される仕組みの構築とその多様性の活用にある。両端にあるマクロとナノの振動電気双極子を結びつけ、機能の多様性を発現する階層的な揺らぎと散逸の構造は、両端で見える素過程に対し、機能選択の自由度を含むホモロジーと解釈される。