

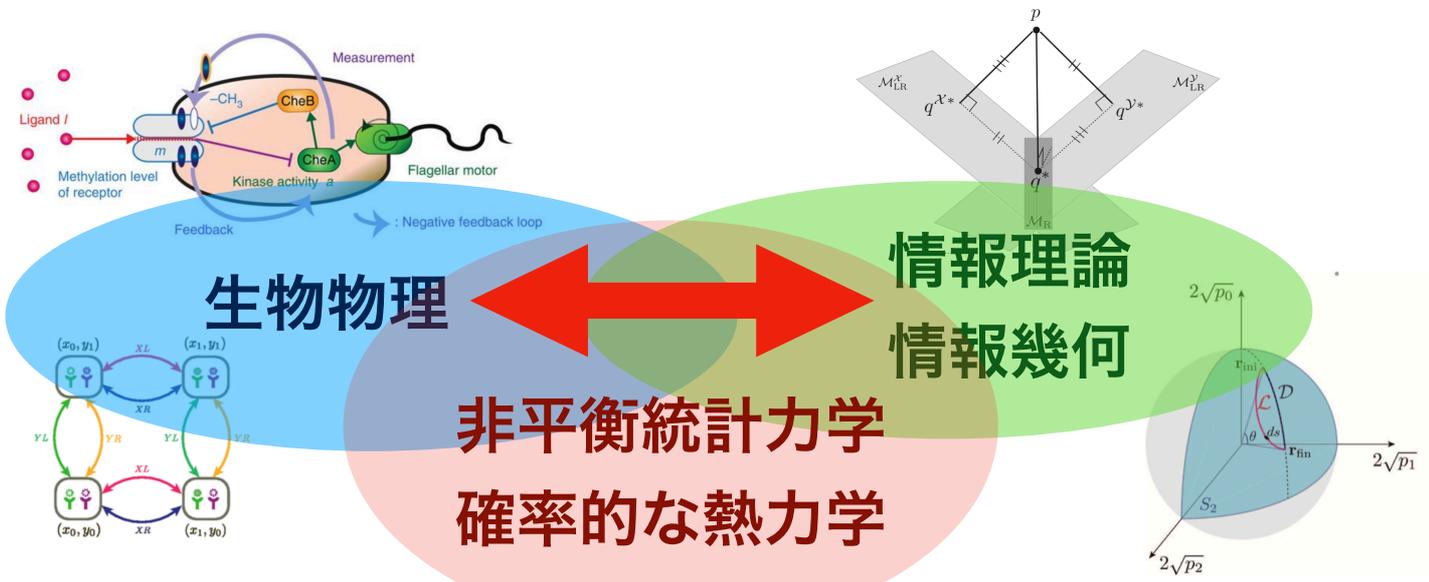
伊藤研究室

伊藤 創祐 sosuke.ito@ubi.s.u-tokyo.ac.jp

非平衡系の物理学 生命現象の情報理論

学部で習うような熱力学・統計力学では、マクロな系の平衡状態および平衡状態間の遷移を主に取り扱います。ところが生命現象においては、平衡から離れた状態やダイナミックな変化が随所にみられます。このようなダイナミックな現象は一般に非平衡現象と呼ばれ、熱力学・統計力学のテーマとしても、生物物理のテーマとしても重要視されてきました。

中でも、非平衡現象における興味深いテーマの一つに情報処理が挙げられます。情報処理は生命現象においても根源的なテーマであり、生体内では単一分子から細胞集団までの様々なスケールの情報処理によって生体システムが維持されています。しかしながら非平衡現象における情報処理の物理的な理解はまだ限定的で、特に生命現象に関する理解は根本的に不十分だと考えています。よって、非平衡現象での情報処理に関する一般的な理論の枠組みを情報理論との親和性の高い形で熱力学・統計力学として構築し、具体的な生命現象の仕組みを解明することが重要であるという考えで、理論物理の研究をしています。

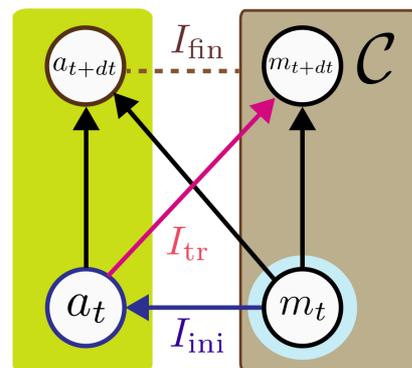
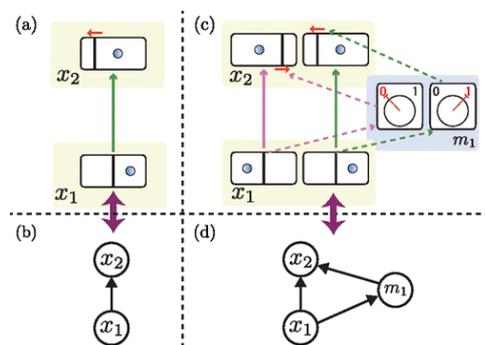
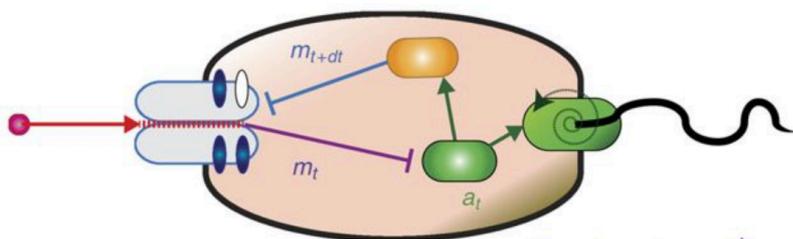


$$\Delta S_{XB} \geq \Theta \quad 2C\tau \geq D^2$$

研究例: 生体情報処理を含んだ形で熱力学第二法則を一般化する

確率的な系の因果推論に使われるベイジアンネットワークを用いてMaxwellのデーモンの理論を拡張し、生体情報処理にみられるような自律的な情報処理にも適用可能な、情報の流れを含んだ熱力学第二法則の一般化を確立させました。

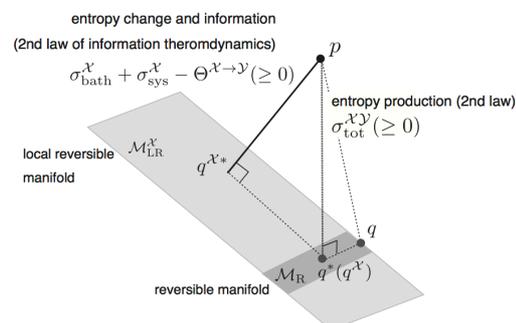
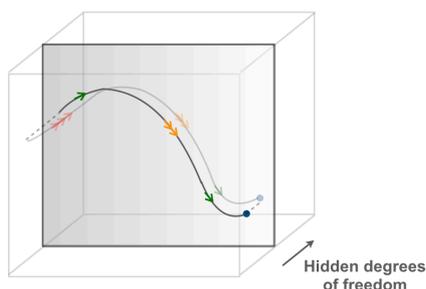
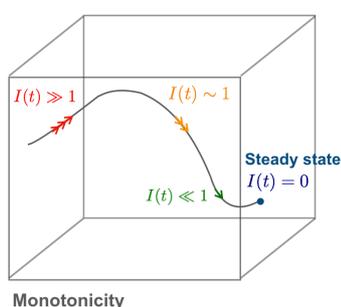
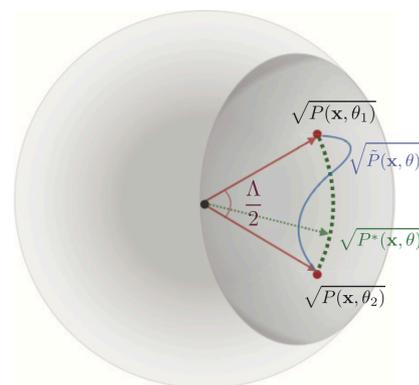
またこの一般化された第二法則と揺動散逸定理の一般化により、大腸菌のシグナル伝達系のノイズに対するロバストネスとネットワーク内部の情報の流れの関係を、定量的な法則性として明らかにしました。



研究例: 情報幾何を用いて熱力学を拡張し、生体システムのトレードオフ関係を理解する

微分幾何をベースにした情報理論である情報幾何を用いて、平衡から遠く離れた系での微分幾何による熱力学理論を構築しています。

この微分幾何による熱力学理論を用いて、熱力学的な不確定性関係の一種としてトレードオフ関係式を導出して生化学反応の情報処理限界を調べたり、隠れた変数がある時の熱力学ダイナミクスの推定理論を構築することで分子モーターのデータの解析に役立てようとしています。



この他にも、生体データ解析の手法開発、非平衡統計力学の基礎論、情報理論/情報幾何の発展、機械学習理論と熱・統計力学の関係にも興味を持っています。