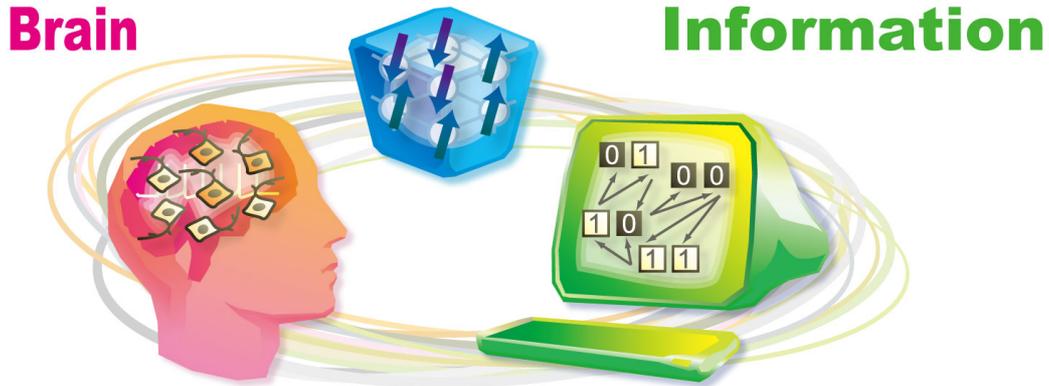


岡田研究室

Condensed Matter



Illustrated by Satohiro Tajima

統計力学を学ぶと、我々はミクロからマクロへつながる階層的な構造が自然界のいたるところに存在することを意識し、物理学の枠組を越えて統計力学が活躍できる様な気がしてきます。

岡田研究室では、統計力学や物性理論等の多体系物理の普遍的な視点から、脳科学、情報科学、物性物理学を理論的研究するとともに、そこで得られた理論的な知見を実証するために、多くの実験系研究室と共同研究を行っています。

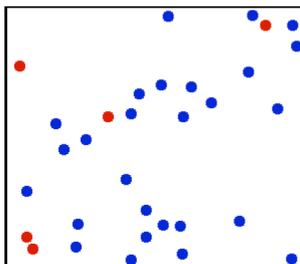
物理学から見た脳科学

マクロ $PV = nRT$

ボルツマン分布

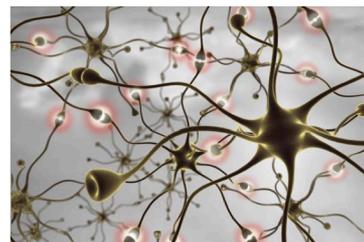
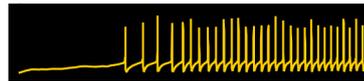
$$P(E) = \frac{1}{Z} \exp\left(-\frac{E}{k_B T}\right)$$

ミクロ



心理物理・心理現象
知覚, 認識, 事物の距離関係
言語, 思考, 精神活動一般

統計力学, 機械学習



【理論脳科学，計算論的神経科学】

物理学と理論脳科学の出会い、物性理論の研究者の Hopfield による記憶のモデルの提案から始まりました。Hopfield は記憶の仕組みが、スピングラスのエネルギーの多谷構造と関係していることを指摘しました。この Hopfield の指摘により、多くの統計物理学者が理論脳科学の研究に参入し、現在では平衡統計力学／非平衡統計力学や大自由度非線形力学系などの物理学的なアプローチが、理論脳科学の主流の一つとなっています。

David Marr から始まる計算論的神経科学では、計算理論、表現とアルゴリズム、ハードウェア実装の三つのレベルの視点で脳の情報処理メカニズムを考えます。ミクロとマクロの階層性の視点からでは、計算理論がマクロに対応し、ハードウェア実装がミクロに対応します。対象としている系の計算理論が、どのようなハードウェアで、どのように実行されるかを議論する、表現とアルゴリズムのレベルが、物質科学と情報科学の交差点となります。

【情報統計力学，機械学習】

小脳のモデルであると考えられているパーセプトロンの学習能力も、スピングラスの理論解析に用いられるレプリカ法で計算できることがわかりました。そのころから、統計学や機械学習で用いられるベイズ推論の数理構造が、分配関数を経由して、統計力学と等価であることが認識され始めました。統計力学はいかに効率的に分配関数を計算するかを競う学問ともいえます。物理学で発展した分配関数や自由エネルギーを計算する手法が、ベイズ推論に用いられて、20 世紀末に情報統計力学と呼ばれる新しい分野がうまれました。

情報統計力学は、パーセプトロンだけでなく、誤り訂正符号、データ圧縮、CDMA、圧縮センシングに関して、従来の数理科学的手法では取り扱えなかった難問を次々に解いています。

【データ駆動科学，物性理論/マテリアルズインフォマティクス】

脳科学を機械学習で取り扱っていると、この枠組は脳科学以外の分野でも有効であることがわかりました。我々は、この学問分野を問わない新しい枠組を高次元データ駆動科学 (HD³) となづけました。我々は物性理論に HD³ を用いた新しい枠組を構築しています。