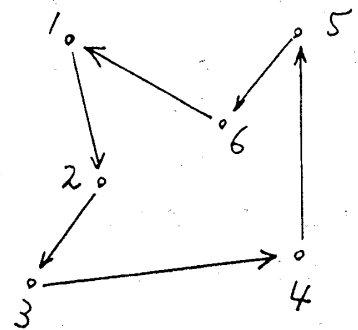


1. スピングラスと最適化問題と神経回路網

東工大理 西森秀稔

スピングラスの研究の過程において発展してきた様々な手法が、最適化問題や神経回路網などのこれまで物理学者の目の届かなかった分野に応用され成果があげられている。

最適化問題においては、スピン系のモンテカルロシミュレーションとの類推から、評価関数（エネルギーと対応する）の最小値を近似的に見いだすためのシミュレーテッド・アニーリング（simulated annealing）という効率のよい一般的な手段が開発された。これを、典型的な最適化問題である巡回セールスマンの問題を例にとって説明する。巡回セールスマンの問題とは、右図のように、 n 個の都市の全てを回ってもとに戻るために必要な最短の距離とそのときの経路を求めよ、というものである。これは、 $T = 0$ におけるイジングスピングラスのエネルギーとスピン配位を求める問題と強い類似性があり、表にまとめると次のようになる。

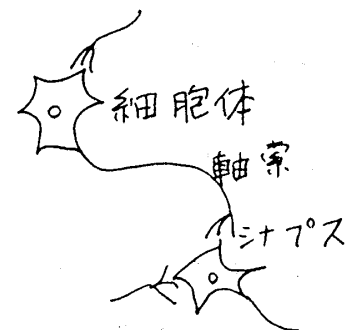


巡回セールスマン	$T = 0$ でのイジングスピングラス
経路長（評価関数）	エネルギー
経路	スピン配位
シミュレーテッド・アニーリング	MCでゆっくり $T \rightarrow 0$ へ下げる
試行変形	試行フリップ
（経路の一部を入れ換える）	（あるスピンを反転してみる）
経路長の変化を Δf として	エネルギー変化を ΔE として
$\Delta f < 0$ なら変形を受け入れる	$\Delta E < 0$ ならフリップ受け入れ
$\Delta f > 0$ なら	$\Delta E > 0$ なら
確率 $\exp(-\Delta f / T)$ で受け入れ	確率 $\exp(-\Delta E / T)$ で受け入れ

このようにして、仮想的に温度を導入することによって、精度のよい近似解を求

められる。

次に、神経回路網についての話を簡単にまとめる。神経細胞はおよそ右図のような各部分から成り立っている。細胞体が発した電気的パルス（興奮）が軸索からシナプス結合を通して次の細胞体に伝えられる。神経細胞は、入ってくるパルスの短時間平均がある閾値を越えると自らパルスを発する。神経回路網全体に興奮がどう分布しているか、特にそれが時間と共にどう変化するかが記憶や認識といった活動に対応していると考えられている。



各神経細胞が興奮状態にあるかどうかをイジングスピン ($S_i = \pm 1$) で表し、シナプス結合を相互作用 J_{ij} だと思えば、この系はイジングスピングラスのダイナミクスと強い類似性がある。特に、シナプス結合には興奮を正の符号で伝えるもの（興奮性）と負の符号で伝えるもの（抑制性）の2種類があることが、スピングラスとの類推から、神経回路網の活動の多様性の鍵になっているものと想像される。以上の対応関係を表にすると次のようになる。

神経回路網	$T = 0$ でのイジングスピングラス
神経細胞	イジングスピン
発火（興奮）	上向き ($S_i = 1$)
静止	下向き ($S_i = -1$)
シナプス結合	相互作用
興奮性	強磁性的
抑制性	反強磁性的
細胞体へのパルス入力の和	スピンにかかる有効磁場
閾値より大なら興奮	$\sum_j J_{ij} S_j$ の方へ S_i を向ける
閾値より小なら静止	
興奮パターンの時間変化	$T = 0$ でのモンテカルロダイナミクス
興奮パターン（記憶パターン）	スピンパターン（スピン配位）

最近の発展の詳細については、例えば Heidelberg Colloquium 1987 (Springer Lecture Note No. 275) を参照されたい。