

マルチカノニカル法によるレアイベント発見手法の開発

Development of methodology for the detection of rare events using multi-canonical method

*板倉 充洋¹¹JAEA

再生可能エネルギーの変動に対応するために、原子力プラントの運転状況を頻繁に変更した場合、操作ミスが連続するようなレアイベントによるリスク事象が考えられるが、それをシミュレーション等で発見するには膨大なケースの計算が必要になる。本講演では単純化したテスト問題として、10次元以上の探索空間において、多数の極値をもつ関数である $\sin(r)/r$ の相互作用を持つ多粒子系を考え、マルチカノニカル法の一つである Wang-Landau アルゴリズムによりレアイベントに対応する極値を求める手法について報告する。

キーワード：モンテカルロ法、リスク評価、マルチカノニカル

1. 緒言

JAEA では長野大学、日揮グローバルと連携し、原子力システム事業課題「再エネ調和型次世代原子力プラント実現のための DX」において、DX 技術を活用し、安全上問題となるような禁止プラント操作を自動で探索する技術の開発を行っている。プラント状態をシミュレーションする各種コードを用い、様々な操作に対する炉心温度等の変化を計算していくことになるが、計算コストが高いため多数のケースに対応することは困難である。そこで機械学習技術を用いて計算コストの低い代替モデルを構築するとともに、探索空間を徐々に広げ段階的に学習していく手法を開発する予定である。一般的に、一連の操作手順が安全上問題となるような場合は確率的には希少な事象であり、数学的には数十の次元をもつ探索空間において限られた領域に対応すると考えられる。本課題では機械学習手法と希少事象（レアイベント）発見手法の二つを開発していくが、本講演では後者について Toy モデルを用いた試行の結果を示す。

2. 研究手法

解析対象として、計算コストが低く、かつ通常的手法では容易に最小値が求められない多次元の関数を構築した。基本となるのは一次元の関数 $F(r)=\sin(r)/r$ で、図1に示すように多数の極値を持っている。二次元空間に N 個の粒子を配置し、各粒子間に距離に応じたエネルギー $F(R)$ を与えることで、 $2N$ 次元空間で多数の極値を持つ関数を構築することができる。この関数に対して Wang-Landau アルゴリズムを適用し、レアイベントに対応した低エネルギー状態の探索を行った。

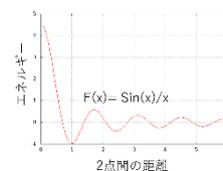


図1：関数 $\sin(r)/r$ 、最小値 -1 を $r=\pi$ で持つよう規格化したもの。

3. 結果・結言

Wang-Landau アルゴリズムは一度エネルギーの高い(評価の低い)状態にリセットしてからエネルギーの低い(高い評価値を持つ)値を探索することを自動的に繰り返し、徐々に評価最高値を更新していく手法である。最終的に図2のような粒子が等間隔で配列した配置が得られた。今後はより現実の希少事象に則したモデルを開発していく予定である。

※本発表には、原子力システム事業課題「再エネ調和型次世代原子力プラント実現のための DX」の成果の一部を使用している。

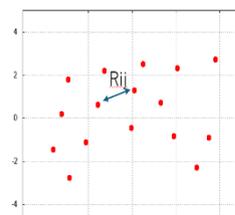


図2：関数 $F(R)$ のエネルギーで相互作用する二次元空間中の粒子 16 個の配置。

* Mitsuhiro Itakura¹¹JAEA