

原子核のアルファ崩壊系列

平成 27 年 2 月 9 日

松岡 弘和

(学籍番号 05380529)

本論文では、原子核の α 崩壊系列の時間発展の計算を行った。この計算は、数学の観点からは微分積分や線形代数の知識を活用できる線形 1 階連立常微分方程式の解法という問題とみなすことができ、情報技術の観点からは C 言語でのプログラミングの応用課題とみなすことができる。工学的視点からは 2011 年の東日本大震災で発生した東京電力福島第一原子力発電所の炉心溶融事故以降社会的関心の高まった放射性物質の話題であり、物理学としては原子核や素粒子といった物質のミクロな構造に奥では関連している課題となっている。

本論文では、大沼・森近両氏による 2011 年度の卒業研究で開発された原子核の放射性崩壊系列の時間発展を連立常微分方程式を求める C 言語プログラムを發展させ、半減期や崩壊分岐比等の大量のデータをプログラム中に記述する方法に改良した。このプログラムを用いアクチナイド核の 4 つの α 崩壊系列であるトリウム系列、ネプツニウム系列、ウラン系列、アクチニウム系列の核種分布や総放射線量はどのような挙動を示すかを調べる。また、さらに重く不安定な（半減期の短い）核を起点にとる系列の核種分布や総放射線量はどのような挙動を示すかについても 2 例の核を調べた。

計算において必要な半減期と崩壊の分岐比のデータは米国立核データセンター (National Nuclear Data Center) のウェブサイト ([url:http://www.nndc.bnl.gov](http://www.nndc.bnl.gov)) 内のデータを使用した。

まず、前半に素粒子、原子核、原子核の放射性崩壊についての基礎知識を整理してまとめた。その後定数係数連立 1 階常微分方程式の解析的厳密解について詳しく説明し、4 つの崩壊ネットワークに対し典型的な状況設定をいくつか行って、その解の挙動をグラフ化し、性質について論じた。

後半において、実際の α 崩壊系列について論じる前に、簡単な崩壊系列の例を用いて放射平衡放射平衡の過渡過程について説明した。その後、主目的であるプログラムを用いたアルファ崩壊系列の計算結果を原子核の個数及び放射能の量として示した。4 つあるアクチナイド核の崩壊系列は起点となる核の半減期が非常に長くなっている。アクチナイド核の崩壊系列はトリウム系列、ウラン系列、アクチニウム系列が値の変わらないプラトー領域を示し、ネプツニウム系列が 1 部の核を除いてプラトー領域を示さなかったが、4 つの崩壊系列すべてが放射平衡という状態を起こしていることがわかった。

次に、重く不安定な原子核について、113 番目の原子核と 118 番目の原子核の 2 例の崩壊系列についての計算結果を示した。こちらはほぼ放射平衡を起こさないことがわかった。理由としては半減期の短い核から長い核へと崩壊が進んでいくためである。また、放射能の量として計算結果を表示した場合、大沼・森近両氏による 2011 年度の卒業研究において計算された β 崩壊系列と同じ挙動を示すことがわかった。

本論分のまとめとして、崩壊系列中の他の核種と比較して、半減期が圧倒的に長い核を起点とする崩壊については、放射平衡と呼ばれる現象が見られることを確認できた。また、半減期のごく短い超重核を起点とする崩壊を 2 例上げ、放射平衡を示さないことを確認した。今後の進展として、崩壊系列の起点を他の核種に取った場合の計算も行ってみることで、部分的な放射平衡が現れることがあるのかどうかをより詳細に論じるという課題が考えられる。