

# 原子核の半減期の経験式

平成 22 年 2 月 8 日

川崎 遼

(学籍番号 05380146)

本論文では、原子核の崩壊の半減期  $T_{1/2}$  を与える粗い近似として、その原子核を構成する中性子の個数  $N$  と陽子の個数  $Z$  の簡単な数式で表された経験式を提案する。原子核の質量については、 $N$  と  $Z$  の簡単な数式の経験式は既に 1935 年に Bethe-Weizsäcker の質量公式が発表されている。半減期についてもそのような経験式があれば、単純さ故の使い易さにより、原子核に関する諸々の課題のための議論の出発点となる最も粗い定量的評価の際に役立つと期待される。

精密な理論的扱いでは、崩壊に際して放出される全エネルギー ( $Q$  値) をも使用して半減期を表すが、 $Q$  値を使うためには原子核の崩壊を崩壊の終状態や崩壊モード毎に分けて扱う必要が生じ、そのために核の基底状態の質量のみならず励起状態の情報が分からなければ半減期が計算できなくなる。この観点からも本論文では  $Q$  値を使用せず  $N$  と  $Z$  だけで経験式を構成することにこだわりたい。

フィッティングに用いる実験データには、米国の Brookhaven にある National Nuclear Data Center の研究者が編纂している半減期等の重要な量をまとめた Nuclear Wallet Cards という冊子の元となるアスキーデータファイル (2009 年 5 月版) を入手して使用した。

このデータから読み込んだ半減期の対数値を  $N$ - $Z$  平面上にグラフ表示して分かったことは、第一に、主たる崩壊モードが  $\alpha$  崩壊である核と  $\beta$  崩壊 (軌道電子捕獲を含む) である核とでは、挙動が明白に異なることであり、この事実から、 $\alpha$  崩壊と  $\beta$  崩壊を別個にフィットすべきであることが結論された。第二に、 $\beta$  崩壊の半減期は  $\beta$  安定線からの距離とともに減少することが分かり、これにより、経験式の変数として  $N$ - $Z$  平面上における  $\beta$  安定線からの距離  $d$  がふさわしいことが分かった。本研究では距離  $d$  として、( $\beta$  崩壊の進行する経路である) 質量数  $A$  が一定の直線に沿っての距離  $d_A$ 、および、 $\beta$  安定線へ下ろした垂線 (Normal) の長さ  $d_N$  の 2 種類を試した。また、これらの距離を質量数  $A$  で割ったものも変数として試した。なお、 $\beta$  安定線の方程式は、Bethe-Weizsäcker の質量公式から導いた。

フィッティング結果の要点は以下の通りである。 $c_0, c_1, p$  を定数として半減期 (秒) の常用対数値が

$$\log_{10} T_{1/2} = c_0 + c_1 d^p$$

で近似できるとして、最小 2 乗法で 3 定数の値を決定すると、 $\alpha$  崩壊する核 (296 核種) については、 $d$  として  $d_A$  を用いた場合に、 $c_0 = 7.67, c_1 = -1.3688, p = 0.79$  を得た。平均 2 乗誤差は 5.22 であり、これは実験値から平均 5 桁もずれることを意味するが、その主因は  $\alpha$  粒子がクーロン障壁を量子力学的にトンネリングする確率が核の微細な個性に大きく影響されることであろう。実際、 $Q$  値の情報を使用する Geiger-Nuttal の経験式でさえも、およそ数桁のずれがある。他の要因として  $\alpha$  崩壊を扱う際に変数として  $\beta$  安定線からの距離を使うことが不適切であるという可能性もある。

$\beta$  崩壊する核 ( $\beta^-$  崩壊する 838 核種および軌道電子捕獲する 755 核) については、 $d$  として  $d_A/A$  を用いた場合に、 $c_0 = 7.81, c_1 = -20.295, p = 0.42$  を得た。平均 2 乗誤差は 2.30 であり、 $\alpha$  崩壊よりは小さいものの、実験から平均 2 桁以上ずれている。ただし、 $\beta$  崩壊の半減期に  $Q$  値の情報を加えて得られる  $\log ft$  値でさえも、超許容遷移と許容遷移に限っても 3 桁のばらつきがあるので、その半分の 1.5 桁と比較して、本経験式の 2.3 桁は著しくは劣っていないと言える。