

119番以降の新元素探索や長寿命超重 元素である「安定の島」の発見は、原子 核物理学の大きな目標です。その鍵を 握る「核分裂」は複雑で、核分裂研究に は理論シミュレーションが不可欠です。 私は、世界でも類を見ない6次元ラン ジュバン方程式による大規模分裂シ ミュレーションを実施し、この課題に 挑んでいます。この計算によって、これ まで解釈が難しかった258 Mdの核分 裂測定データを再現し、実験の強力な 裏付けを提供しました。

今後はさらに系統的な分裂シミュレー ションを実現させ、核分裂機構の解明 に迫ります。

2016年11月、113番元素が日本の 名前に由来する「ニホニウム」と命名 され、大きな話題となりました。現段階 の周期表には118番まで元素が並んで いますが、現在も多くの研究者が、人 類未踏の119番以降の元素生成を目 指し、大規模な研究に取り組んでいま す。また、これまで見つかっている超重 元素は、ミリ秒やマイクロ秒といったご くわずかな時間で崩壊してしまいます が、理論的には原子番号の大きい領域 に「安定の島」と呼ばれる、長寿命超 重元素が存在するという予測がありま す。ここに到達することは、原子核物 理学における大きな目標の一つです。

超重元素の主要な崩壊モードは核 分裂です。原子核が長く存在できるか どうかは、この核分裂に対する安定性 が鍵を握っています。しかし、核分裂は

18

非常に複雑な物理現象で、原子核の 種類ごとに多様な様相を見せます。例 えば、超重元素より少し軽いアクチノイ ド元素の一つ、100番元素フェルミウ ム(Fm)では、非常に興味深い核分裂 現象が知られています[1]。中性子数が 156個の²⁵⁶Fmは、核分裂片の一方が 軽く、もう一方が重い「非対称分裂」が 主に観測されます。ところが、ここから 中性子をわずか2つ増やした²⁵⁸Fm では、非対称分裂が激減し、代わりに 二つの核分裂片がほぼ同じ(129+129) になる「対称分裂」が高い割合を占め るようになります。このように、核分裂

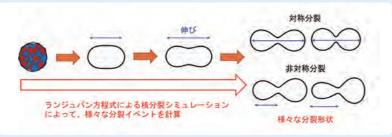
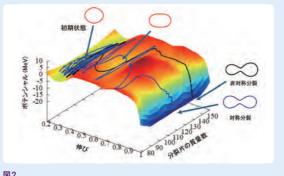
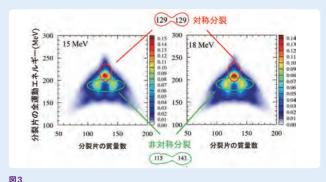


図1

Reference

[1] D. C. Hoffman et al., Phys. Rev. C 21, 972981, (1980). [2] K. Nishio K. Okada et al., Phys. Rev. C 111, 044609 (2025). 図1:核分裂過程の概念図





の様相は陽子数や中性子数のわずか な差によって劇的に変化することがあ りますが、その詳細なメカニズムは未 だ解明されていません。また超重元素 の領域では、そもそも元素生成自体が 難しく、十分な実験データを得られな いのが現状です。こうした背景から、 詳細な物理の解析や実験に先駆けた 予測を提供する核分裂シミュレーショ ンが、極めて重要な役割を担うと考え られます。

私が行っている分裂シミュレーショ ン手法を簡単に紹介します。原子核は 多数の核子(陽子と中性子)から構成され ますが、それら全ての動きを計算する ことは現代の科学技術では不可能で す。そこで、原子核を一つの「塊」と見 なし、その変形を考えることで、核分裂 過程を記述します。図1で示されている ように、原子核は最初球に近い安定な 形をしていますが、徐々に引き伸ばさ れ、やがて中央にくびれができ、最終 的に二つに分裂します。この運動を、 式で表現します。具体的には、原子核 がゆっくりと変形する間、内部の個々 の核子は非常に素早く運動しています が、この核子の細かな動きが原子核変 形に及ぼす影響を「ランダム力(乱数)」 として近似的に取り入れることで、変 形に対する運動方程式が確立します。 これをランジュバン方程式と呼び、分 裂シミュレーションで用いられる基礎 的な方程式になります。計算例は図2 に示されています。原子核変形に対 するポテンシャルを用意し、その上で ランジュバン方程式を解くと、乱数の 効果でふらふらと動き、やがてポテン シャルの山を越え、分裂に達します。1 つ1つの分裂結果は乱数に依るため、 およそ100.000イベント程この計算 を行い、結果を分布として評価します。

実際の計算では、原子核の伸びだ けでなく、先ほど述べた非対称性や、 核分裂片自体の変形といった、多数 の形の自由度を同時に考慮した多次 元ランジュバン方程式を解きます。 こ のような複雑な計算は、紙とペンで解 くことは事実上不可能であり、高性能 なコンピューターによる大規模計算が 不可欠です。私は、世界でも類を見な い6次元という非常に多くの自由度 を扱ったシミュレーションを実現しまし た。1つの分布データを得るために、日 本原子力研究開発機構のスーパーコ ンピューターを用いて、約1週間にわ たる計算を行います。

最近の研究成果の一例として、 ²⁵⁸ Md(メンデルビウム)の核分裂シミュ レーションが挙げられます。日本原子 力研究開発機構のタンデム加速器で 我々のグループが²⁵⁸Mdの核分裂 データを測定しましたが、その詳細な メカニズムの解釈が難しい状況にあ り、核分裂シミュレーションを実施した ところ、結果の解釈を大きく推し進め ることとなりました^[2]。図3は²⁵⁸Md

19

核分裂の分布を表しており、横軸は分 裂片の質量数、縦軸は全運動エネル ギーを表します。図から、エネルギーの 高い対称分裂と、よりエネルギーの低 い非対称分裂という、性質の異なる2 つの分裂モードが混在していることが 一目でわかります。さらに、原子核の内 部エネルギーを増加させると、非対称 分裂の割合が明らかに増えることを明 らかにしました。これらは実験と良い 傾向の一致を示しており、実験データ の妥当性を裏付ける良い成果となりま した。このように物理現象に実験と理 論の両面からアプローチできるのは、 我々の研究グループが持つ最大の強 みです。今後はさらに様々な原子核に 対して分裂シミュレーションを実現さ せ、核分裂機構を明らかにします。

本研究で挑戦している核分裂シミュ レーションは、既知の原子核の理解を 深めるだけでなく、人類未踏の原子 核の世界を理論的に探求する強力な ツールとなります。例えば、実験が極 めて困難な119番以降の超重元素や 「安定の島 | 周辺核種の寿命・崩壊様 式を予測し、効率的な元素合成実験へ の指針に迫ることができます。またこう した知見の蓄積は、マイナーアクチノ イドを活用した新型炉の提案や放射性 核物質の核変換技術の向上といった、 原子力分野の課題解決に資する学術 的基盤となることも期待されます。

図2:分裂シミュレーションの一例(236U)。原子核変形に対するポテンシャル上 で、ランジュバン方程式と解いた結果である。青線のイベントは原子核が均等に 分かれる対称分裂、黒線のイベントは軽い核と重い核に分かれる非対称分裂に 達している。

図3: 258 Md 核分裂の分裂片質量数-全運動エネルギー分布。励起エネルギー は15 MeV(左)と18 MeV(右)。計算結果から、対称分裂と非対称分裂のそれぞ れ平均的な形状が示されている。

Notes on Basic Science 30