

■新元素・アイソトープの合成

重イオン未知重核研究グループ

■池 添

博■

Synthesis of New Elements and Isotopes

Hiroshi IKEZOE

Research Group For Exotic Heavy Nuclei

Synthesis of new element by using heavy-ion reactions is discussed: fusion probability of two heavy nuclei and survival probability of excited compound nucleus. New recoil mass separator for detecting heavy elements and isotopes, which is now under construction in JAERI tandem-booster, is introduced. It is emphasized that the synthesis of new elements and unknown isotopes are important to test to what extent our understanding obtained up to now about atomic nucleus is applicable.

宇宙に存在する元素はほとんど水素とヘリウムである。ほかに炭素、窒素、酸素などがわずかに存在して、われわれ生物を造っている。地球上に天然に存在している元素はこの他に 43 番元素と 61 番元素を除いて 91 種類ある。43 番元素のテクネチウムはセグレによって 1937 年にモリブデンに中性子を吸収させる方法ではじめて人工的に合成された元素で、名前もギリシャ語で「人工的」を意味している。61 番元素のプロメチウムは、太陽のような星の表面で作られていることから、太陽から火をもたらしたギリシャの神プロメテウスにちなんで名付けられた。トリウムとウランは古くから知られていたが、キュリー夫妻によるポロニウムやラジウムの発見に端を発して、ポロニウムからウランまでの放射性元素は今世紀初め頃より 1948 年の期間に次々に発見された。この頃までに中性子や核分裂現象が発見され、さらに原子核の構造が判明して、天然には存在しないウランより重い元素をどうすれば人工的に合成できるかが解ってきた。ウランに中性子や重水素を照射することによって、超ウラン元素のネプツニウムとプルトニウムがシーボルクとマクミ

ランによって 1940 年に合成された¹⁾。彼らはこの功績によってノーベル賞を受賞した。シーボルクたちのバークレーグループはより重い超ウラン元素の合成にサイクロトロンなどの加速器を使い、1974 年までに 106 番までの元素を合成することに成功した¹⁾。彼らが元素合成に使用した方法は、ウランやプルトニウム、アメリシウムなどの超ウラン元素をターゲットにして、101 番までの元素は中性子やアルファ粒子を、102 番以上の元素は炭素、窒素等の重イオンをそれぞれ核融合させるやり方であった。超ウラン元素に重イオンを融合させる方法（熱い核融合）ではできた複合核の励起エネルギーが高くなり、4 個程度の中性を蒸発して残留原子核ができる。この中性子蒸発の過程でほとんどの複合核は核分裂してしまい新元素として残る割合は極めて小さい。同じ方法は旧ソ連のドブナでも行われ、バークレーグループよりも早い時期に 104 番元素と 106 番元素を発見していたと主張している。そのためいまだ正式な名前がついていない。ドイツの GSI (Gesellschaft für Schwerionenforschung) では理論的に安定であると予想されている 114 番元素

を中心とした超重元素を合成することを目的に、核反応で作られた微量元素を選別する装置 (SHIP)²⁾ を建設した。超重元素そのものの合成はできなかったが、1981年に107番元素を38個、1984年に108番元素を3個、そして1982年と1988年に109番元素をそれぞれ1個合成することに成功した。GSIはこれらの新元素の名付け親になる名誉を得、1992年9月にそれぞれNs(ニールスボーリウム)、Hs(ハッシウム)、Mt(マイトネリウム)と名付けた³⁾。GSIで使われた合成法では、鉛やビスマスをターゲットにして加速器からクロムイオンや鉄イオンを照射して核融合させる(冷たい核融合)。この方法ではターゲットと重イオンの対称性が超ウラン元素をターゲットにした場合よりも良いために複合核は20 MeV程度の低い励起状態をとり、1~2個の中性を放出して冷却する。励起エネルギーが低いため冷却過程で核分裂との競争を生き抜いて新元素として残る確率が高くなる。

さてこの先どこまで新元素を合成できるのだろうか。原子核は陽子と中性子から構成されているが、これらの数がある特定の値(マジック数; 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126)のとき特に安定になり、原子核の中に殻構造が存在することが知られている。質量数208の鉛元素は陽子数82, 中性子数126であり、既知のマジック数をもつ元素では最も重い元素である。これよ

り大きいマジック数に関しては、理論的には114番元素で中性子数178を持つ原子核が鉛元素の次のマジック核で、原子核の殻構造エネルギーが極大になりとくに安定であると予想されている⁴⁾(図-1参照)。この超重元素が自然界に存在している可能性が地上の物質、いん石、月の石、宇宙線などで調べられたが、今のところ発見されていない⁵⁾。加速器を使って人工的に合成する可能性が有力視されているが、この場合の問題点は、第1に重イオンと重イオンの融合の確率、第2に複合核が核分裂しないで冷却する確率である。第1に関して、重イオンと重イオンが接近したとき互いの間に障壁が存在するため、これを乗り越えるに十分な入射エネルギーを持たないと融合しない。重イオンが重くなるにつれてこの障壁が予想以上に急激に高くなって、融合の確率が極端に小さくなる。この理由はまだ解っていない。第2に関しては、複合核の励起エネルギーが高くなるにつれて核分裂の可能性が大きくなるため、励起エネルギーはできるだけ小さくしなければならない。励起エネルギーが20 MeV以下になると原子核の殻構造エネルギーが大きくなって核分裂障壁が高くなり核分裂しにくくなる。このことは、できるだけ低い入射エネルギーで重イオン同士を衝突させることを意味するが、第1の条件と矛盾する。しかし最近の研究では、融合障壁を越えられないような低い

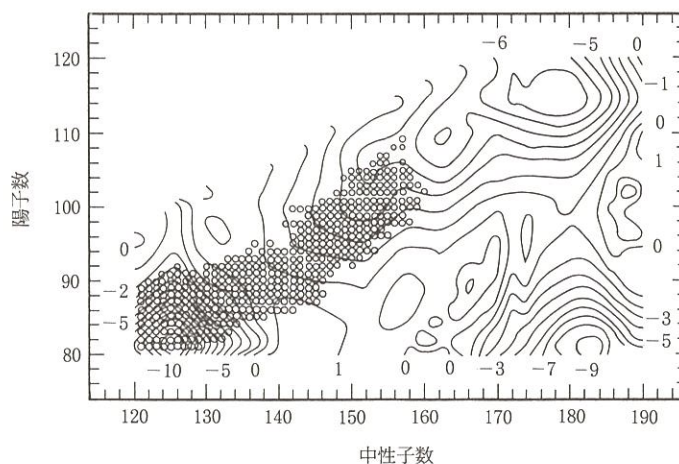


図1 殻構造エネルギーの計算値⁴⁾。

図中の数値が負で大きくなるほど対応する中性子数と陽子数をもつ原子核は安定になる。陽子数114, 中性子数178からなる原子核は鉛208(陽子数82, 中性子数126)の次のマジック核である。今までに発見または合成されている原子核を丸印で示した。

エネルギーでも障壁をすり抜ける確率が予想以上に高いことが解ってきた。また重イオンの構造によっても融合障壁が変化するなど、重イオン同士の融合メカニズムにはまだ未解決の問題点が残されている⁶⁾。新元素の合成を目指すためには、この問題点を解決して最適な重イオンの組み合わせと入射エネルギーを決めなければならない。

次に検出方法である。とにかく合成の確率は極端に小さい。GSIの実験によるとトータルで 1.2×10^{18} 個のビームを照射してやっと1個の109番元素を作ることができた⁷⁾。この生成核は1秒間に 10^{12} 個の大量のビームの流れと共に飛び出すため、検出器の位置でこれらのビームを全て遮断して1個の本物だけを取り出す必要がある。現在原研で建設中(1995年春完成)の反跳型生成核分離装置はそのための装置で、SHIPに比べ、3倍程度収率良く生成核の質量分析が可能である。さらに不必要なビームを取り除く能力は1桁以上優れており、核寿命がマイクロ秒以上のものを検出できる。新元素の合成や超アクチノイド元素の未発見のアイソトープを作ることなどを目指している。

新元素を合成する試みは、単に未知のものを発見するという興味他に、陽子と中性子からなる原子核がどこまでそれらの数を増してひとつのまとまった原子核として存在できるかという基本的な問題への挑戦である。この問題をとおして、これまで50年にわたって蓄積された原子核に関する知識が、今までにない極端な条件下でどこまで通用するかが問われることになる。電荷をもった液滴としての原子核では核分裂に対して不安定になり、105番元素が存在の限度である。

GSIで合成された107から109番元素の核寿命はミリ秒のオーダーであり、これらは予想よりも長く、原子核の殻構造によってその安定性が保たれていることが判明した。このことはより重い原子核、特に110番元素で中性子数162の原子核、が安定であることを強く示唆している。重イオン加速器と大型測定器を組み合わせる新元素を作る試みの中でいろいろな未知アイソトープが発見されるだろう。それらによって重元素領域の殻構造や核変形などが明らかになるだろう。また新元素合成のプロセスから重イオン同士の融合のメカニズムも解明されるだろう。超アクチノイド原子核の研究はまだ始まったばかりである。

参考文献

- 1) Seaborg, G. T. and Loveland, W. D., "Treatise on Heavy-Ion Science" edited by Bromley, D. A., Vol. 4, p255 (1985).
- 2) Münzenberg, G, et al., Nucl. Instr. Meth. **161**, 65 (1979).
- 3) GSI report, GSI-Nachrichten 08-92, 1992.
- 4) Möller, P and Nix, J. R., Nucl. Phys. **A549**, 84 (1992).
- 5) Flerov, G. N. and Ter-Akopian, G. M., "Treatise on Heavy-Ion Science" edited by Bromley, D. A., Vol. 4, p333 (1985).
- 6) Quint, A. B., et al., Z. Phys. A, in press.
- 7) Münzenberg, G., GSI-89-47, 1989.

