



委員長の招待席

理化学研究所において113番新元素の合成と確認に成功

● 森田浩介

理化学研究所仁科加速器研究センター 准主任研究員

日本で発見した元素が元素周期表に載ることがほぼ確実となった。元素周期表には114の元素が載っている。92番ウランまでの元素は天然物中から発見され、93番以上の超ウラン元素は米国、ロシア、ドイツの研究機関が人工的に合成したものである。それぞれ国名や研究所の所在地、人名などにちなんだ名前がつけられているが、日本・アジア発の元素名はまだない。理化学研究所の森田浩介准主任研究員らは「周期表の日本発の新元素を載せたい」と研究に挑み続け、113番目新元素でこの目標が実現しつつある。そこで森田准主任研究員に経緯と想いを執筆していただいた。

2012年8月18日RILAC計測室

独立行政法人理化学研究所（理研）の線形加速器 RILAC（ライラック）施設で 113 番新元素の探索実験はたんたんとい行われていた。原子番号 83、質量数 209 のビスマス 209 (Bi-209) に RILAC によって光速の 10% に加速された、原子番号 30、質量数 70 の亜鉛 70 (Zn-70) ビームを照射し、2 つの原子核の融合反応によって 113 番元素を合成しようとする試みである ($83 + 30 = 113$)。照射室内の検出器から送られてくる電気信号は計測室内で処理され計算機に蓄えられる。オンラインで解析が行われ、それらしいイベント（事象）があれば、画面上に表示されるようになっている。オンライン解析では、見落としや「すり抜け」の可能性があるので、1 日 1 回程度、オフラインでデータを解析している。

今年の 8 月 18 日土曜日、翌 19 日の停電に備え実験シフトに入っていた東京理科大学博士課程の学生住田君は、1 週間分ほどの未解析のデータがあることに気づき、それらのデータのオフライン解析を行っていた。8 月 12 日分のデータを解析中、113 番元素の合成と崩壊を示していると思われる結果を見つけ、本人によれば、興奮を抑えるため「そんなはずはない、そんなはずはない」と心に唱えながら解析を続けた。4 回の連続した α 崩壊を確認したところで、興奮と緊張に耐え切れず筆者に電話をくれた。「どうも（イベントが）出てるみたいなんですけど。」

周期表は現在も拡大している

本誌の読者諸兄には釈迦に説法であるが、元素周期表は化学の基礎である。2009 年 112 番元素が正式に新元素と認定され、発見者と認定された S. Hofmann (ホフマン) 博士が率いるドイツの重イオン科学研究所

(GSI) を中心とした研究グループによって、「コペルニシウム」(copernicium, 元素記号 Cn) と命名された。また 2011 年には 114 番元素と 116 番元素が正式に新元素と認定され、発見者と認定された Yu. Oganessian (オガネシアン) 博士が率いるロシアの合同原子核研究所 (JINR) の 1 部門であるフレロフ核反応研究所 (FLNR) とアメリカ合衆国のローレンス・リバモア国立研究所 (LLNL) の共同研究チームによって、114 番元素は「フレロビウム」(flerovium, 元素記号 Fl)、116 番元素は「リバモリウム」(livermorium, 元素記号 Lv) とそれぞれ名付けられた。

このように元素周期表は今日でも拡大を続けている。

1925 年に最後に残った安定元素であった 75 番元素レニウム Re がドイツの化学者 W. Noddack (ノダック) と I. Noddack-Tacke (タッケ) によって自然界で発見された後は、新元素の発見は核反応によって元素を変換する、つまり未知の原子番号の原子核を合成することによってなされてきた。ここにきて新元素の探索はいわゆる化学者の手から、核化学者あるいは実験核物理学者の手に委ねられるようになる。

上に述べた 75 番元素は、日本の化学者、小川正孝が最初に発見したが、43 番元素としたために幻の元素となった「ニッポニウム」である。天然、人工を問わず日本人が発見した元素名は現在のところ周期表上には存在しない。

理研での113番元素探索実験

筆者が理研に入所した 1984 年、理研のリングサイクロトロン RRC は建設中であった。RRC からの重イオンビームを用いた研究テーマの 1 つとして「新元素の探索」が挙げられ、筆者はこのテーマに関わってきた。基幹実験装置である気体充填型反跳分離装置 GARIS を設計、建設し、新元素探索の準備研究を行ってきた。2000 年、諸事情から GARIS を RRC の照射室から RILAC の照射室に移動して 2001 年から新元素探索の本格実験を開始した。まずは GSI のグループが新元素として合成した 108 番、110 番、111 番、112 番元素を自分たちの手で合成することによって理研グループの実力を内外に示し、2003 年 9 月 113

番元素探索実験を開始した。GSIのグループも全く同じ核反応を使って（我々がGSIグループと同じ反応を使ったと言うべきか）113番元素探索実験を同年8月に開始していた。GSIグループは同年11月イベントを見ることなく実験を中止、それ以降理研以外でBi-209 + Zn-70実験を行ったグループはない。

我々は何回かの中断を挟みながら同反応の実験を続け、2004年7月と2005年4月にそれぞれ1原子ずつの113番元素の同位体[113]-278（原子番号113、質量数278）の合成とその崩壊を観測した。合成された2つの原子とも4回の α 崩壊を繰り返した後、自発核分裂によって一連の崩壊を終えた。 α 崩壊とは重い原子核がヘリウム4（He-4）の原子核を放出して崩壊するもので、 α 崩壊によって親の原子核より原子番号が2小さく質量数が4小さい娘核を生じる。自発核分裂では親原子核のほぼ半分の2つの塊（原子核）に分裂する。一連の崩壊によって合成された113番元素の同位体は次のように変化して行った。[113]-278 \rightarrow Rg-274（レントゲニウム、原子番号111） \rightarrow Mt-270（マイトネリウム、原子番号109） \rightarrow Bh-266（ボーリウム、原子番号107） \rightarrow Db-262（ドブニウム、原子番号105） \rightarrow 原子番号50近辺の2つの原子核。これらの原子核のうち[113]-278、Rg-287、Mt-270の3核種は理研の実験で初めて作られたものであり、Bh-266とDb-262はすでに崩壊様式が知られた核種であった。

一連の崩壊が2つの既知核種へ連結したことをもって、我々は2006年、元素発見の認定機関であるJWP（後述）に113番元素発見の優先権を申請した。ロシア・アメリカの共同研究グループは、別の核反応を用いて115番元素の原子核を合成し、115番元素核が α 崩壊して113番元素核を生じたとしてJWPに申請していた。我々も露・米グループも2009年にも同様の申請を行ったが、双方とも新元素発見の認定は得られなかった。観測されたイベント数が少ない、既知核への確たる連結があるとは言えない等の理由からである。我々が既知であると主張したBh-266は、以前に1原子しか報告されてなかった。また、自発核分裂は α 崩壊と違い壊れて何ができたかを同定できないからである。

新元素の認定

近年の新元素の認定は国際純正・応用化学連合IUPACと国際純粋・応用物理連合IUPAPから推薦を受けた6人のメンバーからなる合同作業部会JWPによって行われる。JWPは何年かに一度新元素発見の優先権のコールを行う。JWPは約1年を費やして論文の精査と議論を行い、元素発見の優先権がどの研究グループにあるのかを決定する。

最近のコールは今年5月にあった。先に述べたように原子番号112までと114、116の発見の優先権はすでに確定しており、今回のコールは論文によって報告のある113番、115番、117番、118番元素が対象となった。手を上げたのは理研のチームと露・米グループのみ、我々は113番、露・米グループは113番、115番、117番、118番元素発見の優先権を主張した。

我々は実験を続けてきたが、5月の時点までに新しい113番元素のイベントを出すことはできなかった。しかし、「既知核への確たる連結があるとは言えない」という批判に応えるためそれまで1原子しか知られていなかったBh-266を自分たちで直接合成してその崩壊様式を詳しく調べ、「既知核への連結」をゆるぎないものにしたことを新事実として加えた。

露・米グループは117番元素核を合成し117番元素核の連続した α 崩壊が、115番元素核の連続した α 崩壊とぴったり重なりあうという新事実を根拠に加えた。このことをクロスボンバードメントと呼んでいる。114番116番元素の認定に関し、別の核反応で作った核の連続した α 崩壊同士が部分的にぴったり重なるというクロスボンバードメントが重要な役割を果たした。ただし崩壊連鎖は自発核分裂で終わっており、既知核への連結はない。

2012年8月18日再び

今年の8月18日、筆者は理研で行われたIUPAPのC12（実験核物理分野）のメンバーの見学会のために出勤していた。居室で住田君からの電話を受けた筆者はRILAC計測室に駆け付け、彼が解析した4回の α 崩壊を見て3個目の113番元素核の合成を確信した。震えが止まらない。そ



もりた・こうすけ

1984年九州大学理学研究課物理学専攻博士後期課程満期退学。同年理化学研究所サイクロトロン研究室研究員補、91年同研究員。93年博士（理学）九州大学。同年理化学研究所サイクロトロン研究室先任研究員、2006年から仁科センター森田超重元素研究室准主任研究員。新潟大学、東京理科大学客員教授。05年仁科記念賞、井上学術賞受賞。

こへIUPAP, C12のメンバーが見学のためRILAC計測室にやってきた。何とC12のメンバーの中に一人JWPのメンバーがいたのだ。JWPのメンバーの眼前で3個目の113番元素の合成が明らかになった。

それだけではなかった。4回目の α 崩壊の次に自発核分裂が見えていない。解析を続けていた住田君はそれに続く2回の α 崩壊を見つけ出す。Db-262が α 崩壊した！実はDb-262は67%の確率で α 崩壊し33%の確率で自発核分裂を起こすことがよく知られた原子核だった。これまでの2原子はDb-262が両方とも自発核分裂しており、統計的に不自然ではないにしても α 崩壊が観測されてないことで、我々の主張に疑義をとなえる見方もあった。Db-262の α 崩壊の観測はこの疑義を払拭する。さらに6回目の α 崩壊はDb-262の α 崩壊の娘核であるLr-258（ローレンシウム，原子番号103）の α 崩壊とぴったり一致している！Natureに感謝。イベント数は増えた。既知の原子核への連結は完べきである。新元素認定の条件を完全に満たしている。ただ、優先権のコールの締め切りは過ぎてしまっている。

その後

当日は駆けつけてくれた仁科加速器研究センターの延興センター長や矢野前センター長らと祝杯をあげた。翌8月19日は二日酔いと停電で仕事ができない。続く3日間は理研の一斉休業日で研究室の仲間は久々の休暇をとっている。筆者は休暇を返上して論文を書き、研究室の仲間は休業明けに必要なキャリブレーションを行う。論文は8月29日、日本物理学会英文誌Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)に投稿、査読者とのやりとりを経て9月10日に掲載決定。9月27日にオンライン掲載された¹⁾。

同日、プレスリリースを行って世界に向けて情報を発信し、またJWPの議長と各メンバーに新しい論文を添付した手紙をだし、この新事実を優先権の考慮に是非とも含めてほしいということを訴えた。JWPは締め切りを過ぎた我々の新データを受け入れてくれるだろうか？メンバーはすべて見識高い科学者である。そのメンバーが、今回のデータほど科学的に明確な真実

を無視することはないと信じている。

JWPはどのような決定をするのか、「固唾をのんで見守る」とはこんな気持ちのことを言うのだろう。

謝辞—あとがきにかえて—

理研における113番元素の探索実験は本年10月1日をもって終了した。この実験だけに限っても2003年以来9年以上の年月が経っている。ビームを照射した延べ日数は570日を超える。最初のイベントは延べ照射日数約100日に出ている。2個目のイベントも同様の日数で出てきた。当然次の100日で3イベント目が来るだろうと期待してしまう。100日やっけて出なかったらどうするか？さらに100日やるだけである。実験条件は変えられない。実際は3イベント目が出るまで、延べ照射日数で350日以上かかっている。イベントに飢えたと実験条件を動かしてみたい。少数統計の実験の大変なところである。筆者とともに共同研究者はこの誘惑に耐え続けた。

今回の論文の共著者39名は2008年以降に実験に参加したメンバーであるが、9年間の実験にはもっと多くの研究者が参加している。イベントがほとんどなく、長く単調な実験を、決して手を抜くことなく準備し、遂行してきた共同研究者に深く感謝している。

この実験を続けていた昨年3月11日、東日本大震災が発生した。地震と続いて起こった津波とによって多くの方が亡くなり、また傷つかれた。続く福島第1原発の事故で東日本が電力不足となる中、他の実験を止めてまで我々の実験遂行を支持してくれた野依理事長をはじめとする理研の理事に大変感謝している。またこの研究には理研の事務、支援部門、オペレーター等の多くの方が尽力して下さいました。

皆様どうもありがとうございます。

今回の成果を昨年の震災によって亡くなられた方と傷つかれた方に捧げることを論文の謝辞に明記している。

興味のある方はJPSJのホームページを訪れ是非論文をダウンロードして読んでいただきたい。

1) Kosuke Morita et al. *J. Phys. Soc. Jpn.* **2012**, *81*, 103201.
<http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/81/103201>
DOI: 10.1143/JPSJ.81.103201