



九州大学記者クラブ会員 各位

アジア初！「113番元素」の命名優先権が日本へ！
～理学研究院 森田浩介教授～

本日、国際純正・応用化学連合（IUPAC）より我が国の研究グループに通知があり、日本に「113番元素」の命名優先権が与えられることが確定いたしました。「113番元素」は、大学院理学研究院物理学部門教授兼国立研究開発法人理化学研究所仁科加速器研究センターグループディレクターである森田浩介教授が国立研究開発法人理化学研究所仁科加速器研究センターで長年実験してきた成果です。詳細については、国立研究開発法人理化学研究所によるプレスリリースを参照ください。

【久保千春総長のコメント】

この度、森田浩介教授の研究グループが、「113番元素」を発見したと認められ、日本に命名権が与えられることになり、九州大学関係者として大変光栄に思いますとともに、九州大学を代表して森田教授に心からお祝いを申し上げます。

この度の森田教授グループの栄誉は、本学にとっても誇りであるとともに、このような世界トップレベルの先生を身近に接しながら学ぶことにより、本学学生に良い影響・感化が与えられるのではないかと期待するところです。

【森田浩介教授のコメント】

理化学研究所での長期にわたる実験の末に得られた研究成果が「周期表に新たな一席を占める」という形で国際機関に認められましたことを研究代表者として嬉しく思います。共同研究者ならびに研究を支援してくださった方々、応援してくださったすべての方々と共に喜びを分かち合いたいと思います。今後も新元素探索の研究を続けていりますが、この研究を通じて九州大学の教育および研究活動、人材育成に貢献できるよう努力していくつもりです。

【本件担当】

九州大学広報室

電話：092-802-2130

FAX：092-802-2139

E-mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

113番元素の命名権獲得

—元素周期表にアジア初、日本発の元素が加わる—

要旨

理化学研究所仁科加速器研究センター超重元素研究グループの森田浩介グループディレクター（九州大学大学院理学研究院教授）を中心とする研究グループ（森田グループ）[1]が発見した「113番元素」を、国際機関が新元素であると認定しました。12月31日、国際純正・応用化学連合（IUPAC）より森田グループディレクター宛てに通知がありました。これに伴い、森田グループには発見者として新元素の命名権が与えられます。欧米諸国以外の研究グループに命名権が与えられるのは初めてです。元素周期表にアジアの国としては初めて、日本発の元素が加わります。

森田グループは、理研の重イオン加速器施設「RI ビームファクトリー（RIBF）[2]」の重イオン線形加速器「RILAC[3]」を用いて、2003年9月から亜鉛（Zn:原子番号30）のビームをビスマス（Bi:原子番号83）に照射し、新元素の合成に挑戦してきました。2004年7月に初めて原子番号113の元素合成に成功し、その後、2005年4月、2012年8月にも合成に成功しています。この3回の113番元素合成報告に加え、2009年に行ったボーリウム（Bh:原子番号107、113番元素が α 崩壊を3回起こした際に生成される原子核）を直接合成する実験からも、113番元素合成を裏付ける重要な結果を得ました。これらにより新元素認定の際に重要視される「既知同位体への崩壊[4]」が疑う余地なく確認されました。

新元素発見に関わる審議はIUPACと国際純粋・応用物理学連合（IUPAP）」が推薦する委員で組織された合同作業部会「JWP[5]」が行います。森田グループは、2004年からこれまでに3度合成した「113番元素」を新発見の元素であると主張しました。一方、ロシアと米国の共同研究グループも別の手法により113番元素を合成し、その発見を主張していました。JWPは両研究グループの研究結果が認定基準を満たしているかを審議し、森田グループが観測した113番元素は確実に既知の原子核につながっているなどの理由から、森田グループが113番元素の発見者であるとIUPACに報告し、IUPACがそれを認めました。今後、森田グループは113番元素の名前および元素記号を提案します。それをIUPAC/IUPAPが審査し、妥当と認められれば、約1年後に新元素名がIUPAC/IUPAPから発表されます。

超重元素の研究の先には、未発見の119番以上の新元素探索や、「安定の島[6]」と呼ばれる未知の領域にある原子核の探索、周期表上第7・8周期元素の化学的性質解明など、未踏分野が残っています。理研はロシアのフレロフ核反応研究所の研究グループと並んで、世界の超重元素研究を牽引する立場にあり、今後

も加速器の改良を進め、これらの研究に挑戦していきます。

113 番元素合成に関する研究の一部は文部科学省科学研究費補助金 19002005（特別推進研究）の助成によって実施されました。JWP による元素発見の優先権に関する論文は IUPAC 発行の『Pure and Applied Chemistry』に掲載される予定です。

1. 背景

1) 新元素の発見と認定の仕組み

新元素の探索は、化学と物理学双方の学問にとって重要な研究テーマです。1869 年にロシアの化学者メンデレーエフが提唱した「元素周期表」には、水素（H:原子番号 1）からウラン（U:原子番号 92）のうちの 63 種類しか掲載されていませんでした。現在では水素からコペルニシウム（Cn:原子番号 112）までの 112 種類と、フレロビウム（Fl:原子番号 114）、リバモリウム（Lv:原子番号 116）の計 114 種類が認定されています（図 1）。

元素周期表

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
周期	1	H 1																He 2
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
3	Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
6	Cs 55	Ba 56	*	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
7	Fr 87	Ra 88	†	Rf 104	Db 105	Sg 106	Bh 107	Hs 108	Mt 109	Ds 110	Rg 111	Cn 112	Fl 113	114	115	Lv 116	117	118

→ 超重元素
 → 理研が合成した元素

*ランタノイド	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

†アクチノイド	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103
---------	----------	----------	----------	---------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

自然界で発見された元素
 人工合成により発見された元素

113, 115, 117, 118番は命名に至っていない。

図 1 元素周期表

2015 年 8 月時点で発見が報告されているもの。今回理研が合成した元素は水色で示した 113 番元素

一部の例外を除き 92 番のウランまでは自然界から発見されてきましたが、それより重い元素は人工的に合成することでその存在が確認されてきました。特に、原子番号が 104 以上の超重元素と呼ばれる元素は、生成量が極端に少なく、化学的性質の分析結果だけで新元素合成を証明することは困難です。また、超重元素はすべて不安定で、より安定な元素へと短時間で崩壊してしまいます。そのため、新元素の合成を証明するには、その元素が崩壊連鎖を起こして既知の原子核へ到達していることの確認が大変重要になります。

新元素発見の認定に関しては、「国際純正・応用化学連合 (IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry)」と「国際純粋・応用物理学連合 (IUPAP: International Union of Pure and Applied Physics)」が推薦する 5 名で構成された合同作業部会「JWP: Joint Working Party」が審議します。JWP の審議結果をもって IUPAC が、発見した研究グループを認定するとともに、新元素の命名権を同グループに与えています。命名により、中学校以降の教科書にも収載されている周期表が書き換わることになります。

2) 113 番元素発見までの経緯

理研は、1980 年代後半から超重元素合成の準備研究を始め、理研の重イオン加速器施設「RI ビームファクトリー (RIBF)」に世界最高のビーム強度を有する重イオン線形加速器「RILAC」や気体充填型反跳分離器「GARIS[7]」などを導入し、2001 年から本格的な超重元素合成実験を始めました。当時、ドイツ重イオン科学研究所(GSI)で 107 番から 112 番までの超重元素が合成されていたため、理研の森田グループは GSI が合成した元素の追試実験から始め、短期間で 108 番、110 番、111 番元素の合成に成功しました。2003 年 9 月に、亜鉛 (Zn:原子番号 30、質量数 70) のビームをビスマス (Bi:原子番号 83、質量数 209) に照射し、新元素の 113 番元素を合成する実験を開始しました (図 2)。

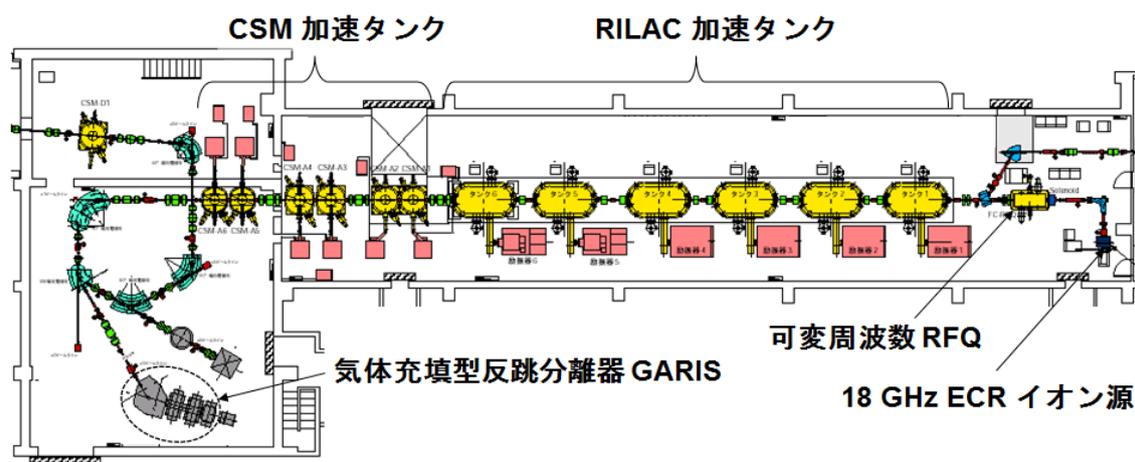


図 2 重イオン線形加速器「RILAC」

ECR イオン源から引き出した重イオンは、可変周波数 RFQ と RILAC 加速タンクで加速され、GSM 加速タンクを通過後、最終的には光速の 10% 程度の速度に到達して標的に照射される。原子核は原子番号分のプラスの電荷を持っており、2 つの原子核が近づくと、互いの核は電荷による静電反発力を感じるようになる。2 つの核の融合が起こるには、ビームのエネルギーが静電反発力に打ち勝って、核の表面同士が接触するところまで近づく必要がある。それを実現できる速度がちょうど光速の 10% に相当する。核融合で合成した超重元素は、GARIS で入射ビームや副反応生成物から分離され、半導体検出器で観測される。

また、113 番元素合成実験の途中の 2007 年には、GSI が合成した 112 番元素の追試実験にも成功しました。理研の追試が重要な決め手の一つとなって、GSI が 112 番元素の発見者として認定されています。

実験開始から 10 ヶ月余りたった 2004 年 7 月 23 日、初めて 4 回の連続したアルファ崩壊[8]と、それに引き続き 2 つに分裂する自発核分裂[9]の観測に成功しました (図 3)。

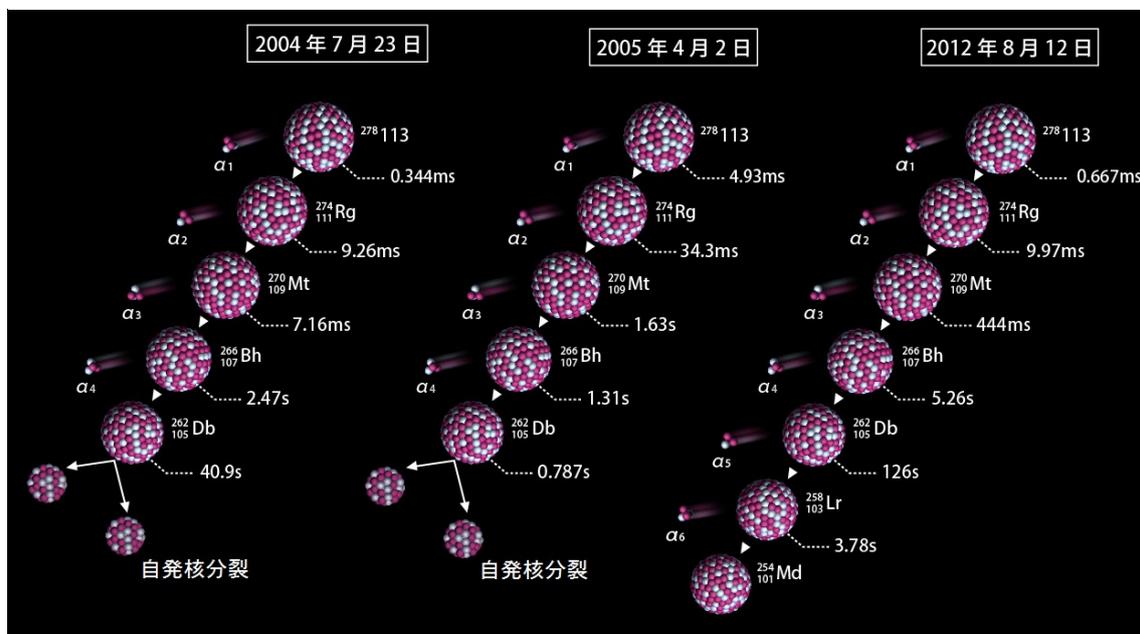


図 3 3 例の崩壊連鎖

2004 年 7 月 23 日の最初の 113 番元素合成に至るまでに、1 秒間に 2.4 兆個の垂鉛ビームをビスマスに 79 日照射し、約 50 兆回衝突させた。2005 年 4 月 2 日に 100 日の照射により 2 個目、2012 年 8 月 12 日に、350 日の照射により 3 個目の合成にそれぞれ成功した。1 個目と 2 個目の合成では、113 番元素の同位体 (113、質量数 278) から 4 回の連続したアルファ崩壊と、その後ドブニウム (Db:原子番号 105、質量数 262) が 2 つに分裂する自発核分裂を観測した。3 個目の合成では、4 回のアルファ崩壊に続き 2 回のアルファ崩壊を観測、最後はメンデレビウム (Md:原子番号 101、質量数 254) になったことを確認した。

既知の同位体のアルファ崩壊は、崩壊までの時間 (寿命) と崩壊で放出されるエネルギーが精度よく知られています。観測された 4 回目のアルファ崩壊の寿命とエネルギーは、既知のボーリウム同位体 (Bh:原子番号 107、質量数 266) がアルファ崩壊するときのものと精度よく一致しました。またボーリウム同位体のアルファ崩壊によって生成されたドブニウム同位体 (Db:原子番号 105、質

量数 262) は約 1/3 程度の確率で自発核分裂をすることも知られています。よって、ドブニウム同位体に至るまで 4 回のアルファ崩壊を起こした原子核は、1 回のアルファ崩壊によって原子番号は 2 減ることから、 $105 + 2 + 2 + 2 + 2 = 113$ 番元素だったに違いないと言えます。その翌年 2005 年 4 月 2 日にも同様に、4 回の連続したアルファ崩壊と自発核分裂を観測しました。

そして 7 年後の 2012 年 8 月 12 日には 6 回の連続したアルファ崩壊を観測しました。この観測で得たアルファ崩壊の寿命とエネルギーは、既知のボーリウム同位体、ドブニウム同位体、そしてローレンシウム同位体 (Lr:原子番号 103、質量数 258) がアルファ崩壊するときのものと精度よく一致しており、6 回のアルファ崩壊の末、メンデレビウム同位体 (Md:原子番号 101、質量数 254) に到達していることを確信させるものでした^{注1)}。

ドブニウム同位体は自発核分裂の他に 2/3 程度の確率でアルファ崩壊することが知られています。つまり森田グループはドブニウム同位体で両方の現象を確認したことになります。また 2009 年に行ったボーリウム同位体の直接合成実験によって得た 32 例のアルファ崩壊連鎖の解析から、上記 3 例の崩壊系列が既知のボーリウム同位体を通っていることを確かなものとししました。これらの結果から、113 番元素合成を疑う余地のないものと考え、113 番元素の発見を主張してきました。

一方、同時期にロシアのフレロフ核反応研究所と米国のローレンス・リバモア国立研究所、オークリッジ国立研究所の共同研究グループは、カルシウム同位体 (Ca:原子番号 20、質量数 48) のビームを、アメリシウム同位体 (^{243}Am :原子番号 95、質量数 243)、バークリウム同位体 (Bk:原子番号 97、質量数 249)、カリホルニウム同位体 (Cf:原子番号 98、質量数 249) に照射する実験を行い、115 番、117 番、118 番元素を合成し、またそれらが連鎖崩壊していく過程を捉えたことで、113 番元素を含む 4 つの元素発見を主張していました。ロシア・米国共同研究グループの実験結果は、合成例が多いものの、どの実験結果も崩壊後に既知の同位体に至っていないという問題点がありました。

注 1) 2012 年 9 月 27 日のプレスリリース「3 個目の 113 番元素の合成を新たな崩壊経路で確認」
<http://www.riken.jp/pr/press/2012/20120927/>

2. 認定に至った経緯

森田グループは、2004 年、2005 年、2012 年に合成した 3 つの 113 番元素の崩壊経路について、互いに α 崩壊のエネルギーと寿命の測定値における矛盾がなく、その崩壊先は確実に既知の原子核につながっていることに加えて、2009 年に行ったボーリウム同位体の直接合成実験において異なる合成過程で同一の崩壊経路を観測できたことから、113 番元素を発見したと主張しその結果が認められました。

113 番元素の発見の審議は、2007 年から始まっています。森田グループは、2004 年と 2005 年の 113 番元素の合成成功をもって発見を主張しましたが、2 回の合成成功ではイベント数が少ないなどの理由から、当時は発見の主張には

不十分であるとされました。

JWP はその後、2012 年に再度 113 番元素の発見の審議を始めます。そこで森田グループは、先の 2 例の合成成功に加えて、2009 年に成功したボーリウム同位体の合成によって 113 番元素合成時の崩壊経路を別の合成過程からも確認できたこと、2012 年に合成した 113 番元素が既知の原子核であるメンデレビウムに到達したことをもって、発見を主張しました。これが認められ、今回の発見者認定に至りました。

森田グループは世界で唯一、113 番元素の崩壊経路が既知核へ到達したことを確認しており、それが今回の発見者認定の決め手となっています。これは、森田グループ及び仁科加速器研究センターが、「世界で最大のビーム強度を長期にわたり安定に供給可能とした加速器技術」、「世界で最大の効率および分離能力をもつ測定器」と「非常に精密な計測技術」により「超高感度な実験系」を構築したことで初めて実現した成果です。

3. 今後の期待

本研究は、ヒッグス粒子の発見など激しい国際競争が続く素粒子・原子核分野において、アジア初、日本発の成果を生み出し、日本の科学技術力の高さを世界に示しました。113 番元素発見までに開発された加速器や計測装置は理研の研究者が設計し日本の企業が実現したものです。今後もチャレンジングな加速器や計測装置の開発に挑戦することで、日本の科学技術力はより向上していきます。また、理論的に存在が予測される原子番号や質量数が大きな元素（超重元素）を合成することは、元素周期表の拡大、元素の存在限界、未知の同位体の特性などを理解するために重要です。

今回、113 番元素を含めて 4 つの元素の発見が認められたことで、周期表の第 7 周期までの元素が全て揃いました。森田グループは 113 番元素の発見だけでなく、GSI の 112 番元素発見のデータ追試を行いました。超重元素の領域では原子核が持つ大きな核電荷によって電子軌道が大きく変化し（相対論的効果）、軽い元素の周期性からは予測もつかないユニークな性質の出現が理論的に予測されています。1 個の原子を取り扱う究極の微量元素分析技術を開発し、新しく発見された元素の化学的性質や電子構造を実験的に解明することは、今後の化学の重要なテーマとなります。

さらに、理研と九州大学を中心とした国際共同研究のもと、第 8 周期元素である 119 以上の原子番号をもった新元素の探索に挑戦します。超重元素の先には「安定の島」と呼ばれる未知の領域があるとされています。この領域にある原子核の寿命は、量子力学的な効果によって極めて長くなると予想されています。理研は、RIBF の大強度化を行って、不安定な原子核の生成・分離能力を大幅に向上させ、安定の島に至る道筋を見つけ出すとともに、原子核の地図とも言える核図表上の新領域の開拓を目指します。

4. 関連サイト

- ・ 113 番元素特設サイト (<http://www.nishina.riken.jp/113/>)
- ・ お楽しみコンテンツ「113 番元素」 (<http://www.riken.jp/pr/fun/113/>)

5. 論文情報

<タイトル>

Discovery of the elements with atomic numbers $Z = 113, 115$ and 117 (TBA)

<著者名>

Paul J. Karol, Robert C. Barber, Bradley M. Sherrill, Emanuele Vardaci, and Toshimitsu Yamazaki

<雑誌>

To appear in Pure and Applied Chemistry, early 2016 issue.

本件に関わる理研の成果

Experiment on the Synthesis of Element 113 in the Reaction $^{209}\text{Bi}(^{70}\text{Zn},n)^{278}113$
Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 73, No. 10, October, 2004, pp. 2593–2596

DOI: 10.1143/JPSJ.73.2593

Observation of Second Decay Chain from $^{278}113$

Journal of the Physical Society of Japan Vol. 76, No. 4, April, 2007, 045001

DOI: 10.1143/JPSJ.76.045001

Decay Properties of ^{266}Bh and ^{262}Db Produced in the $^{248}\text{Cm} + ^{23}\text{Na}$ Reaction

Journal of the Physical Society of Japan, Vol. 78, No. 6, June, 2009, 064201

DOI: 10.1143/JPSJ.78.064201

New Result in the Production and Decay of an Isotope, $^{278}113$, of the 113th Element
Journal of the Physical Society of Japan 81 (2012) 103201

DOI: <http://dx.doi.org/10.1143/JPSJ.81.103201>

6. 補足説明

[1] 研究グループ (森田グループ)

理化学研究所、東京大学、埼玉大学、新潟大学、筑波大学、日本原子力研究開発機構、中国科学院近代物理研究所、中国科学院高エネルギー研究所、東北大学、東京理科大学、新潟大学機器分析センター、東京大学原子核科学研究センター、大阪大学、東北大学電子光物理学研究センター、山形大学の研究者等が参加したグループ。

[2] RI ビームファクトリー (RIBF)

RI とはラジオアイソトープ (放射性同位元素) のことで、その元素を用いた量子ビームを RI ビームと呼ぶ。RIBF とは RI ビーム発生系施設と独創的な基幹実験設備で構成される重イオン加速器施設。2 基の線形加速器、5 基のサイクロトロンと超伝導 RI ビーム生成分離装置「BigRIPS」で構成される。2006 年に稼働し、従来生成不可能であった RI も含めて世界最多となる約 4,000 種の RI を生成する性能を持つ。世界最高性能を誇る RIBF には世界中から第一線の研究者が集まっている。追従する欧米の施設が完成する 2020 年頃までの間、国際的な要請に応じて本施設の稼働時間を最大限確保して世界トップの成果をあげるとともに、施設高度化を進めて世界最高性能を維持することで、原子核構造の理解の深化などの基礎研究に留まらず、イノベーションを牽引することを目指している。

[3] 重イオン線形加速器「RILAC」

RILAC は RIKEN Linear Accelerator の略。高周波電場を用いて、重イオンを直線的に加速する加速器。多数のチューブ型電極が空洞の中に直線上に並べられている。RILAC は、重イオンを加速するために低い周波数 (18~45MHz) で運転でき、また多種のイオンに対応するため周波数も変えられる。通常のイオン線形加速器はパルス運転だが RILAC は連続運転ができるため、平均ビーム強度が非常に高い。鉄やカルシウムなど、いくつかのイオン種で世界最大強度のビームを供給できる。

[4] 既知同位体への崩壊

未知同位体の確実な同定は、合成された同位体が (連続して) アルファ崩壊し、既知の同位体に到達したことが確認されることによる。既知の同位体へのアルファ崩壊は、崩壊時間 (寿命) と崩壊エネルギーが精度よく知られており、そこから崩壊を逆にたどって未知同位体の原子番号と質量数を決定できる。

[5] JWP

JWP は、Joint Working Party の略。「国際純正・応用化学連合 (IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry)」と「国際純粋・応用物理学連合 (IUPAP: International Union of Pure and Applied Physics)」が推薦する 5 名で構成された合同作業部会。JWP が数年に 1 度、新元素の発見者を募り、誰が発見したのかを審議し IUPAC に答申する。

[6] 安定の島

核図表上で陽子数 112~120、中性子数 184 近辺に存在すると考えられている長い寿命を持つ原子核の存在領域。通常の超重元素が 1 秒を大きく下回る寿命を持つと対照的に、この領域の原子核は 1 日から数年に及ぶ寿命を持つと理論的に予想されている。この領域に到達することは、原子核物理学最大の挑戦の 1 つ。

[7] 気体充填型反跳分離器「GARIS」

GARIS は Gas-filled Recoil Ion Separator の略。重イオン核融合反応で合成した目的の超重元素を、入射ビームや副反応生成物から高効率・高分離能で分離、収集する装置。ヘリウムガスの充填により、目的とする超重元素イオンが標的膜からどのような価数で飛び出してきたとしても、大きな効率で収集できる。

[8] アルファ崩壊

アルファ粒子（ヘリウム 4 の原子核で原子番号 2、質量数 4）を放出して、より安定な核に崩壊すること。これによって原子番号が 2 小さく質量数が 4 小さい核に変化する。

[9] 自発核分裂

不安定な原子核の崩壊様式の 1 つ。特に原子番号の大きな核に見られ、外部からの作用なしに核分裂を起こして崩壊すること。

7. 発表者・機関窓口

<発表者> ※研究内容については発表者にお問い合わせ下さい
理化学研究所 仁科加速器研究センター 超重元素研究グループ
グループディレクター 森田 浩介（もりた こうすけ）
TEL：048-467-4964 FAX：048-462-7302
E-mail：morita@ribf.riken.jp

<機関窓口>
理化学研究所 広報室 報道担当
TEL：048-467-9272 FAX：048-462-4715
E-mail：ex-press@riken.jp

理化学研究所 仁科加速器研究推進室
TEL：048-467-9451 FAX：048-462-5301
E-mail：nishina-kikaku@riken.jp
