

この人に聞く

## 113番元素の合成に成功した

# 森田浩介 博士

理化学研究所 仁科加速器研究センター  
森田超重元素研究室 准主任研究員

新元素113番元素発見の優先権は、日本の理化学研究所（理研）を中心としたグループと日米共同グループが主張しているが、2012年8月、決定的ともいえる3個目の合成に理研グループが成功した。1984年から28年間、新元素合成を追究してきた森田博士に、113番元素発見までの道のりとその命名権の行方、新元素合成の魅力を聞いた。

### 「イベントきました！」 3個目の113番元素を確認した瞬間

——2004年に1個目が、翌2005年に2個目が、そして2012年8月に3個目の113番元素が合成されました。7年ぶりの検出の瞬間はいかがでしたか？

森田：狂喜乱舞です。合成したのは8月12日でしたが、できているのがわかったのは8月18日だったんです。その日は偶然、元素発見の優先権を決める作業部会<sup>\*1</sup>のメンバーが来日していて、研究室の見学に来ることになって

いました。彼らを案内するために研究室に控えていたら、解析していた学生さんから連絡があって、「出ているみたいなんんですけど！」って。それで慌てて確かめたら、データに113番元素を表す $\alpha$ 崩壊が四つ見えていた。「あー、もうできる！」と、発狂寸前になっていたら、ちょうど命名権を決める部会のメンバーが見学にやってきて。

——それはインパクトがありますね。

森田：すごくインパクトありました。解析結果はテキストデータでしか出てこないんで、非常に地味でビジュアルも弱いんですけど、うれしいなんてもんじゃなかった。

### 3個目の検出に なぜ7年もかかったのか

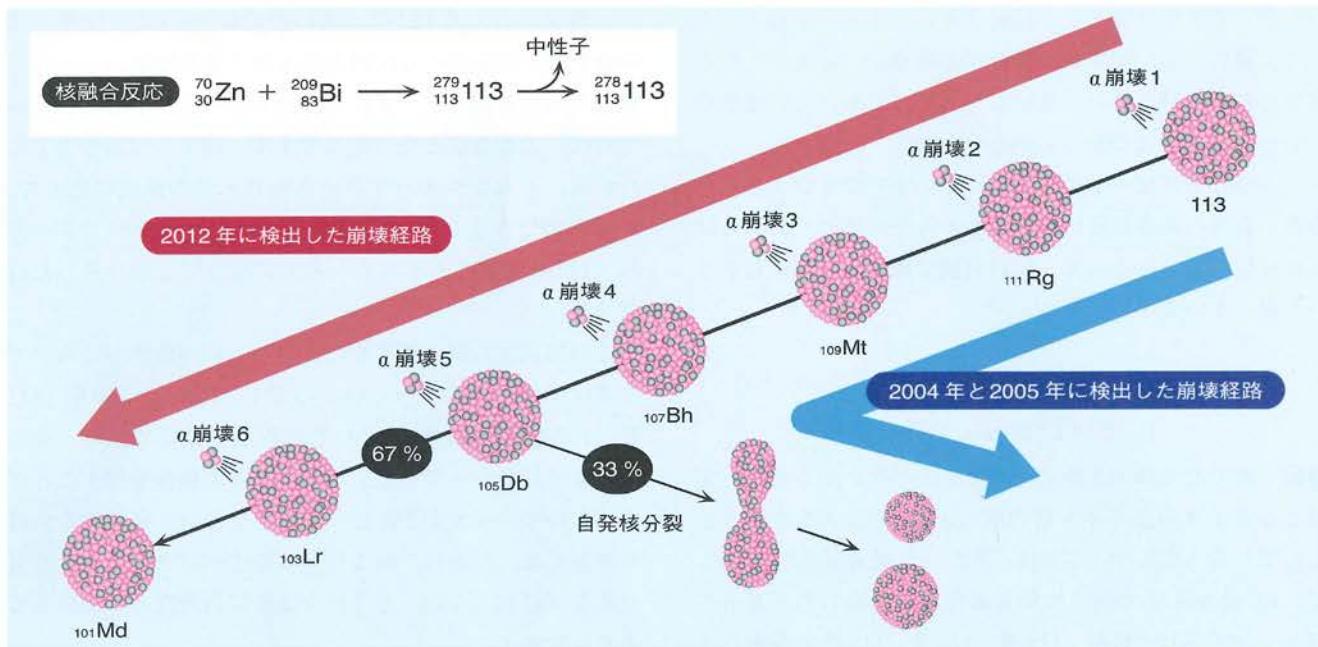
——それにしても7年は長いですね。最初は1年に1個ずつでしたよね。

森田：そうですね。それは運がよかったです。

——運の問題なんですか？

森田：確率ですからね。原子核と原子核をぶつけて新しい原子核ができる確率。新元素をつくるにはものすごく簡単な方程式がありますね。113番元素をつくるときは、原子番号が足して113になればどの元素同士をぶつけてもいいんです（図1）。われわれは83番元素のビスマスを標的にして30番元素の亜鉛をビームとして照射した。非対称

\*1 国際純正・応用化学連合（IUPAC）と国際純粹・応用物理学連合（IUPAP）が推薦する6名で構成された合同作業部会（joint working party）。数年に一度、新元素発見の優先権についてコール（募集）を行い、応募されたものについて約1年かけて議論し、新元素と認定するか否かを決定する。



「105番は $\alpha$ 崩壊する確率が7割、自発核分裂する確率が3割なんですけど、3割の確率の経路が2回出てしまった。つきがないというか、3個目ができてもまた自発核分裂かもしれないねってみんなで言ってたんです。 $\alpha$ 崩壊がきて本当によかったです」

図1 理化学研究所による113番元素の合成とその崩壊経路

であれば非対称なほど融合しやすいので、本当は112番と1番がいいんですけど、112番は1ミリ秒くらいしか寿命がないので標的にはできない。安定で一番重い元素は92番のウランですからこれを使えばもっと融合の確率を高くできるのですが、放射性です。ぼくらは放射性ではない元素で一番重い83番のビスマスを使ったのです\*2。

この融合の確率というのは決まっているわけですが、実験をしてある程度検出例を集めまるまでわからない。ただ、原子番号が大きくなるほど確率がどんどん小さくなることだけはわかっている。113番元素は560日くらいやって3個だったので、毎日190くらい目があるサイコロを1日1回振って1が出る確率と似たようなもんで、190日振ったら1回1が出るかもしれないし、奇跡的に2回続けて1が出るかもしれないし、300回出ないこともなくはないという。

だから、ぼくらの実験は、長時間、大強度のビームでやる必要があります。強度っていうのは1秒間に照射する原子の個数です。

——サイコロを振る回数を増やすわけですね。確率自体を上げることはできないですか。

森田：確率はぶつける原子の速度を決めると決まってしまうんですね。

原子と原子をぶつけて融合させるとき、原子核同士はプラスの電荷をもっていますから反発します。標的を重い核にして軽い核をぶつけなければ近づけるけれど、スピードが足りないと接触できずに離れてしまう。スピードを余計に加えると、今度は融合した原子核がすぐに核分裂してしまいます。天然には原子番号が92番のウランまでしか存在しないというのは、原子核が大きくなっていくとどんどん不安定になって分裂したくなるからなんですよ。原子と原子が正面衝突するときに、表面同士がちょっと接触するくらい

森田浩介(もりた・こうすけ)博士

独立行政法人 理化学研究所仁科加速器研究センター森田超重元素研究室 准主任研究員、理学博士。1957年福岡県に生まれ、1984年九州大学大学院理学研究科物理学専攻博士課程を満期退学、理化学研究所サイクロトロン研究室に研究員補として入所。新元素探索の要となる気体充填型反跳分離装置GARISの設計で1993年博士号を取得。入所後一貫して新核種の探索に取組み、113番元素の合成に成功。新潟大学、東京理科大学の客員教授も務める。

\*2 ビスマスや鉛を用いるものを“冷たい”融合反応、ウランやキュリウムなどを用いるものを“熱い”融合反応とよぶ。理研グループは冷たい融合反応で、口米共同グループは熱い融合反応で113番元素を発見した。“熱い”“冷たい”は、二つの原子核が融合したときに生成核に残ってるエネルギーの量を指し、それぞれのやり方には利点、不利点がある。p.33も参照。

いのぎりぎりのスピードで照射すると、ぎゅっと抱きつくように融合する。ですから融合する確率が一番大きくなる速度を探さなければいけないんですね。でも、どの速さがいいかというのはわかっていないんです。

——ぶつけるスピードは理論計算で出すのですか？

森田：もちろん理論はいろいろあるんですけど、ぼくらはあまり信じていなくって、結局実験で確かめてみるしかないと思っています。

### 先行するドイツグループの追試から得たもの

森田：ぼくたちは113番元素の合成にとりかかる前に、先行するドイツの重イオン研究所（GSI）の追試をすることにしました。GSIというのは“冷たい”融合反応<sup>\*2</sup>を使って、107番から立て続けに新元素合成に成功したグループです。ぼくらは108番、110番、111番、112番を合成しました。このときビームの速さを遅いほうから速いほうへ変えながら測ってみて、ここで測ったときは0個、ここでやったら1週間で1個、ここでやったら1週間で5個、もうちょっと先にいったら減って、もうちょっとしたら0になつたというふうに、一番多く出る速度を探したんですね。それをどの元素でも丁寧に測って、その延長で113番はどのスピードでやればいいのかを予想したんです。それで、ここだと決めたところでえんえんと待つ。

——追試で行った112番元素の合成は、GSIに112番元素の優先権を決定づける後押しにもなりましたね。

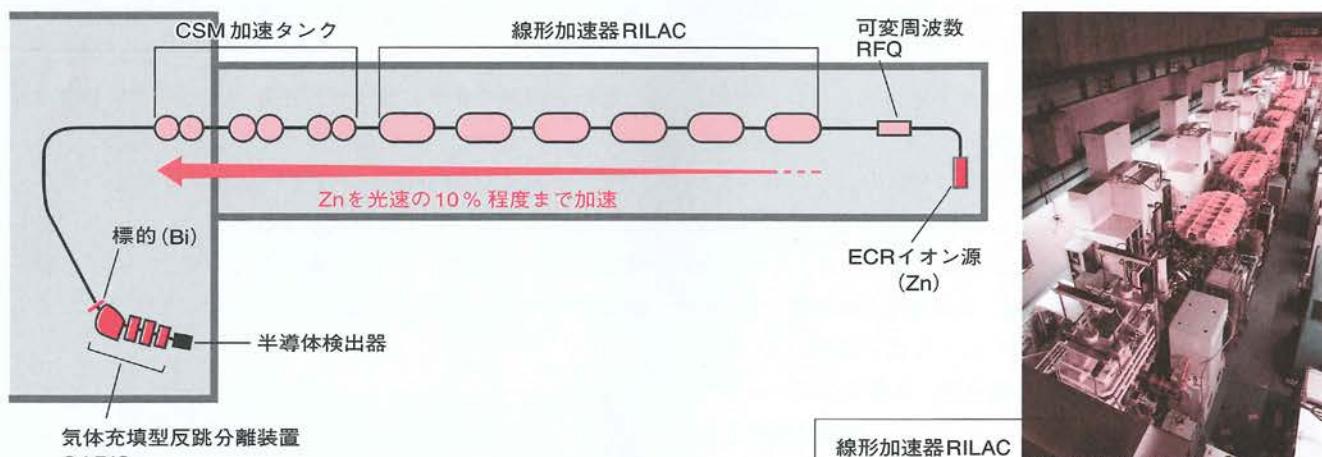
森田：彼らと同じデータが得られるということを世界に示すのは、大切なことだったんですよ。ぼくらは新参者でしたから、そんなグループがいきなり未踏の領域に挑んで、新元素ができました！と言っても信用されないですからね。112番元素はナイスアシストになつてしましましたけど（笑）。

この追試は、原子番号が増えるごとに一桁ずつくらいできる確率が小さくなっています。108番、110番、111番、112番はGSIの結果からどの程度の確率で出てくるのかはすでにわかっていて、そのとおりの結果を出すことができたので、多分113番もうまくいくという楽観的な気持ちがもてた。だから、何十日やってイベントが出なくてもそんな気にならない。そういうふうに自分たちの訓練もできたんですよ。

### 手探りでスタートした新元素合成のプロジェクト

——さきほど新参者とおっしゃいましたけど、森田先生のグループより前に新元素合成の研究をしているところは日本になかったのですか？

森田：今理研にある一番古い加速器、理研リングサイクロトロンが完成したのが1986年です。そのリングサイクロ



新元素合成には、大強度の入射ビーム、入射ビームの適切な速度、生成した原子核を精度よく分離し検出する能力と、個々の装置で高い性能が必要となる。

ビーム強度が高くなると、加速器が壊れやすくなるが、壊れた部分の補強を繰返すことで、加速器の安定性はどんどん高まつた。標的で生成した原子核は反跳分離装置によって分離され、飛行時間約1μ秒で検出器に届く。検出器に飛び込んだ原子核は、シリコン半導体に打

込まれて1~2 μmの深さにささる。このとき、ささつた場所、入射エネルギー、飛行時間などの信号を得る。安定な原子核ならそれきりだが、113番は同じ場所にとどまりながらα線をボロボロと出していくので、その崩壊時間と崩壊エネルギーの信号を得る。一連のα崩壊のどれかが、既知核のα崩壊と確定できれば、そこからさかのばって生成核の原子番号と質量数を決めることができる。

図2 理化学研究所で使われている実験装置

トロンを使ってどういうサイエンスをやるかという議論がされていて、一つの柱として新元素を探索しようというのが出てきました。ぼくは1984年に入所した瞬間からそのプロジェクトをやることになったんです。

——当時は、何もないところから始められたんですね。

森田：まず最初は、「気体充填型反跳分離装置」という、核融合で生成した原子核を入射ビーム核などから分離して取出す装置の研究をしました。GARIS（ガリス）という装置です（図2）。教科書を読んで、電磁石の勉強や、電場や磁場の中を荷電を帯びた粒子が通っていったらどういう軌道を描くかというイオンオプティクスの勉強をして、1億円くらいかかる装置を設計したんです。ぼくは大学院を退学しているからこのGARISをつくって理学博士をとったんですよ。でもできてみたら、まあ、いろいろ設計ミスや不備がありました。GARISをつなげたリングサイクロトロンにはいろいろな実験装置がぶら下がっていますから、われわれの装置で実験できるのは年間2週間くらいしかなかったんですね。だからなかなか結果は出なかった。鳴かず飛ばずってやつです。ですが、GARISのいろいろな蓄積はできました。

そうこうしてたら、超伝導リングサイクロトロンという新しい大型加速器の計画がもちあがったんです。実験室の位置がビームの通り道になるということで、装置ごと追い出されることになったんですけど、ちょうどそのころ、RILAC（ライラック、図2）という線形加速器がわれわれの実験にちょうどよいくらいのエネルギーに増強されていたので、GARISをRILACにもっていけるよう頼んだんです。それが2000年でした。GARISは全部で60トンくらいあるので今まで不備を修正したくてもできなかつたんですけど、せっかく引っ越しするので、四つ並んでいる電磁石の距離を動かして調整したら、すごくいい装置に仕上がったんですよね。

### 113番元素合成へ

——16年かかって加速器や分離装置の準備が整って、やっと本格的に新元素の合成を狙えるようになったんですね。

森田：新元素合成は113番を狙いました。まず108番からGSIの追試を始めて、110番、111番までやった段階で112番をすっとばして113番にいたんです。なんでかというと、ぼくらが113番を狙っていることを知って、GSIが2003年の8月に113番の実験をスタートさせたんですよ。ぼくらは112番をやってから113番をやろうと思っていた

んですけど、翌9月の5日から113番の実験を始めたんです（図3）。GSIは結局「確率が低すぎる」ということでその年の11月には実験をやめてしまったんですけど、同時に実験を走らせて最初の数カ月はドキドキでした。確率ですからどっちかに出る、GSIに出てしまったら終わりです。彼らが113番を降りたというのを聞いて、ぼくらはその年の12月29日まで実験していったん終わりにしました。

それで、112番もちゃんと出ることを証明しようと翌年2004年の4月から6月まで、実際のビーム照射30日で112番を二つ出しました。GSIは1996年に出したんですけど優先権認定までいかなかった。ぼくらのこの2個が後押しになったわけです。

112番が終わるとすぐに113番を始めたんですけど、実は最初、113番の実験は予定されていなかったんですね。

——1個目の113番を検出した実験が、ですか？

森田：そうです。2004年の7月から実験を始めることができたのにはわけがあって、当時、線形加速器RILACはメインの加速器リングサイクロトロンの入射器にもなっていたので、メイン加速器で実験しているときは、ぼくらの実

年	月/日	ビームタイム （日数）	照射量/和 ( $\times 10^{19}$ )	観測事象の数
2003	9/5-12/29	57.9	1.24/ 1.24	0
2004	7/8-8/2	21.9	0.51/ 1.75	1
2005	1/20-1/23	3.0	0.07/ 1.82	0
2005	3/20-4/22	27.1	0.71/ 2.53	1
2005	5/19-5/21	2.0	0.05/ 2.58	0
2005	8/7-8/25	16.1	0.45/ 3.03	0
2005	9/7-10/20	39.0	1.17/ 4.20	0
2005	11/25-12/15	19.5	0.63/ 4.83	0
2006	3/14-5/15	54.2	1.37/ 6.20	0
2008	1/9-3/31	70.9	2.28/ 8.48	0
2010	9/7-10/18	30.9	0.52/ 9.00	0
2011	1/22-5/22	89.8	2.01/11.01	0
2011	12/2-12/19	14.4	0.33/11.34	0
2012	1/15-2/9	25.0	0.56/11.90	0
2012	3/13-4/17	33.7	0.79/12.69	0
2012	6/12-7/2	15.7	0.25/12.94	0
2012	7/14-8/18	32.0	0.57/13.51	1
合計		553	13.51	3

ビスマス標的に平均して毎秒 $2.8 \times 10^{12}$ 個の亜鉛原子が照射された。2010年から本格的に実験時間がとれるようになった。2011年は東日本大震災が発生し、節電の年でもあったため、理化学研究所ではRILAC以外の加速器を止め、113番元素合成の実験だけを走らせたときもあった。「申し訳ないし、自分たちだけ実験をやらせてもら正在いいのか」と大分悩んだという。論文の謝辞にはこの成果を被災者にささげる旨が明記されている。

図3 113番元素合成実験のビームタイム

験はできなかつたんです。あのときはたまたまリングサイクロトロンが壊れましたので、RILACが遊んでしまうから使っていいよということになつたんです。7月8日から始めて23日に1個、ずっと出てきて！ 前の年9月からやつたぶんと合わせて連続照射時間79.8日で1個目が出てきました。2個目も2005年の4月に出てきたから、これは思ったより確率が大きいのかなって思つたんだけど(笑)。

——3個目は…。

森田：553日でやつと3個だったので、やっぱりこんなもんだったかって(笑)。実験中はガスが空にならないかとか回路は安定しているかとかいろんな状況をモニターしていなければいけないので、十数人でシフトを組んで一日中はりついているんですよ。だんだん夜シフトはやめようということになりましたけど、最後はみんなへたれてましたね。

——ビームの照射時間（図3）を見ると、全然照射していない年もありますよね。2個出たから113番はもうやめようと思われたんですか？

森田：時間さえあればやりたかったんですけどね。さっきいったように、メインの加速器が動いていてRILACは使えなかつたんですね。けれどもそれでは効率が悪かろうというんで、2010年にリングサイクロトロン専用の入射器がつくられてRILACの空いている時間が長くなつたんです。それで2010年以降は集中して実験できるようになつたんです。

### 命名権の行方

——113番元素発見の優先権は口米共同グループも手を挙げていますが（図4）、今回で3個できましたから理研グループが113番の命名権を得るのは確実そうですか？

森田：今回の三つ目はものすごく決定的な結果なんです。

1個2個の原子を計測できるのは放射線計測しかない。 $\alpha$ 崩壊と自発核分裂をみると、2004年と2005年に検出した二つは、連続した4回の $\alpha$ 崩壊と最後に自発核分裂が観測されました（図1）。 $\alpha$ 崩壊だと $\alpha$ 線のエネルギーと崩壊時間から、確かにこの原子が壊れたことができる。このとき、4回目の $\alpha$ 崩壊が107番のボーリウムのものと一致したので、そこから3回分の $\alpha$ 崩壊をさかのぼっていって、検出器に飛び込んできた原子は113番元素だとわかつた。

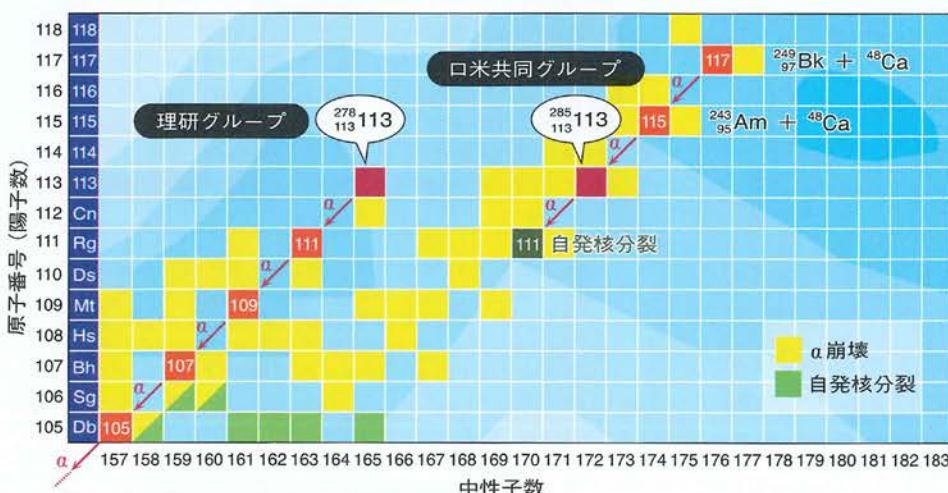
ただ、107番の $\alpha$ 崩壊は過去に一つしか研究例がなかつたんです。105番のドブニウムは自発核分裂することも、 $\alpha$ 崩壊することも知られていたんですけど、自発核分裂は何ができるか確かめようがないんですね。“自発核分裂した”ということしかわからない。前回、前々回の新元素発見のコールでは、検出したのが2個では少ないとことと107番の $\alpha$ 崩壊が1例しかないので弱いということではねられましたので、自分たちで107番を20個ほどつくって確かに $\alpha$ 崩壊することを確かめたんです。105番も、自発核分裂が33パーセント、 $\alpha$ 崩壊が67パーセントの確率で起こることを実験して確かめました。それらを添えて2012年5月にあった新元素発見のコールに三度目、提出したんですけど…。

——えっ？ 締切りは5月だったんですか？

森田：そう！ その締切りが過ぎてから3個目が出てきちゃつた。しかも105番が自発核分裂するのではなく $\alpha$ 崩壊するもう一つの崩壊経路がかかってきたんです（図1）。

——その3個目の成果は今回のコールでは考慮してもらえないんですか？

森田：その成果の論文が出た日に、「これを考慮に入れ



口米共同グループは95番アメリカンウムや97番バーチリウムと20番カルシウムを使った“熱い”融合反応を用いて117番や115番を合成。これらが $\alpha$ 崩壊して113番になることから、113番も同時につくったと主張している。117番の崩壊経路と115番の崩壊経路が一致することを113番が確かにできた根拠としているが、崩壊経路は既知の原子核につながっていない。理研グループより半年ほど早い成果である。

図4 理研グループと口米共同グループの実験領域（核図表）

てください」と新元素発見の優先権を決める作業部会メンバー全員に手紙をつけて送りました。考慮してくれると思ふんですけどね。彼らも科学者ですから、科学的な証拠が出てるのにそれを無視するということはない信じています(笑)。ただの確信でしかないけど…。

——113番はこのあとも続けてやっていくんですか。

森田：10月1日にやめました。3個できたというのもあるし、崩壊経路も2種類見えたので、科学的には完結したと判断しました。丸9年同じ実験をやってますから、先に進んで新しいことをやりたいですね。

### 次の狙いは？

——新しいサイエンスはどこを狙うんですか？

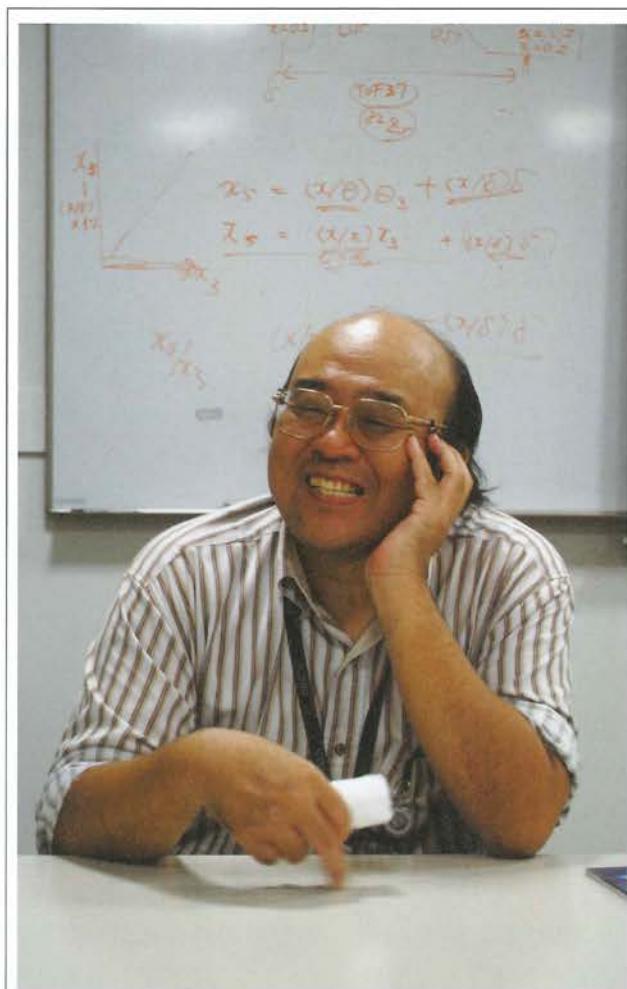
森田：119番と120番です。96番のキュリウムに24番のクロムをぶつける“熱い”融合反応を使います。“冷たい”融合反応でつくれる元素は、多分113番が最後でしょう。原子番号が一つ増えるごとにどんどんできる確率が下がっていくから、時間がかかりすぎてしまうんです。

すでにGARIS-IIという新しい分離装置ができているんですけど、実験条件を変えられないので113番の実験が走っているうちにはテストができなかった。このテストも始まります。

——新元素をつくり出す面白さはどんなところにあると考えていらっしゃいますか？

森田：元素は世界を構成している部品みたいなものですから、その中の一つを埋めていくというのは、サイエンスと同時に文化もあるし、人類の知的財産だと思います。元素の発見はほとんどヨーロッパでなされたんですけど、人工元素になって初めてアメリカが参画ってきて、93番から103番まではアメリカの独壇場だったんですね。冷戦時代はアメリカと旧ソ連がしのぎを削って、その後はドイツ、ドイツが頑張ったあとにまたロシアとアメリカが今度は手を組んで、ぼくらは孤軍奮闘ですよ。周期表の中に一つくらい日本、アジアが見つけたものがあつてもいいじゃないかと思うんですよ。まあ、まず役には立たないですけど、300年くらい経っても何の役にも立たないと思いますけどね(笑)。

それから、104番、105番くらいまでは割りとその化学的性質が調べられていますが、106番はほとんど調べられていません。そのあたりの化学的性質を調べる実験が理研で行われています。原子番号が大きくなっていくと、中の陽子が増えるので電子を引きつける力がどんどん大きくなるわけですね。何が起こるかというと、電子の速度がどん



「結果が出なくても気にせず長いことやってられる性格が新元素合成に向いていた」という森田博士。しかしリスクーなので若い人には勧められない研究とのこと。「大抵、10年間成果なしでがまんできますか?って言われたら、できませんって言うでしょ。1イベントも見ずに卒業した学生さんもいますからね」しかし今、実際に実験をしているのは森田博士の薰陶を受けた若手研究者たちだ。森田博士自身、なかなか自由に実験装置に触らせてもらえないそうだ。「すごく寂しい。ぼくが教えたのって思うけど、実際に実験した彼らこそスポットを当ててほしいと思う。いつも僕が目立ってしまうけど」という言葉にグループの雰囲気が伝わってきた。

どんどん速くなってくる。そうすると相対性効果で電子は重たくなってくるんです。面白い性質がでてきて周期表どおりに並ばない可能性があります。

そして119番になると第8周期になる。第8周期はまだ誰も知らない世界なんです。

——とほうもない世界ですね。成果をすぐに求められる時代に、じっくり時間をかけて元素の素性がだんだんわかってくるような研究がきちんとなされているんですね。本日はありがとうございました。(現代化学編集グループ)