

放射化学

第33号

解説

J-PARC / ANNRIにおける即発ガンマ線分析法開発

113番新元素の合成

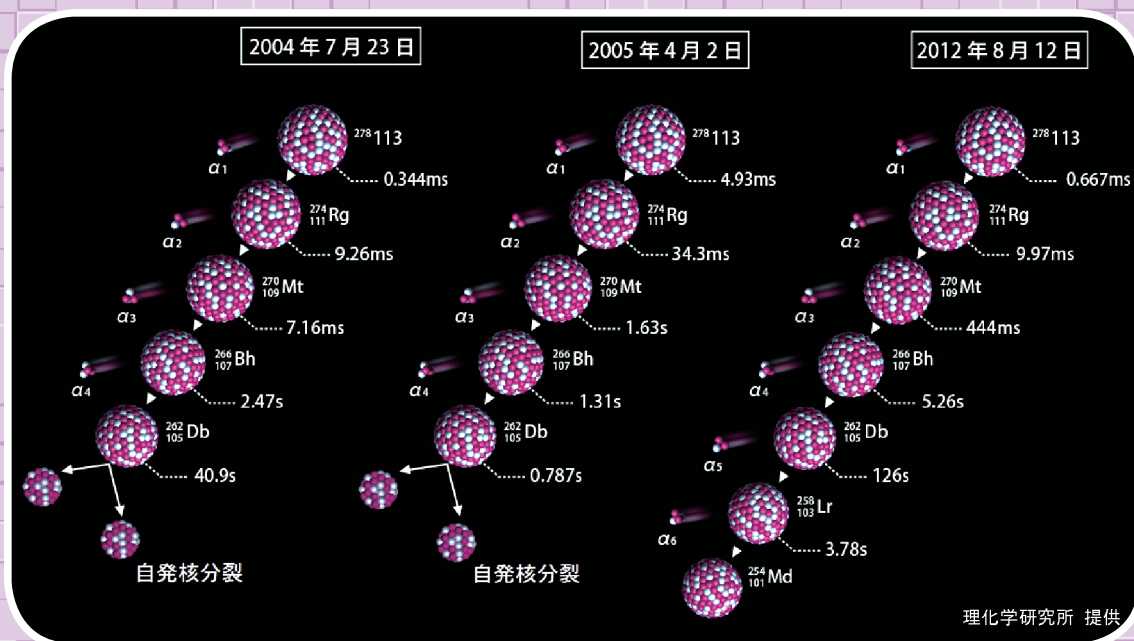
113番元素の命名権、日本へ！

特集

2015年度学会賞

2015日本放射化学会年会 若手優秀発表賞受賞者による研究紹介

研究室紹介—2015若手の会から—



日本放射化学会

The Japan Society of Nuclear and Radiochemical Sciences

放射化学

第 33 号

平成 28 年 (2016 年) 3 月 28 日

目次

解説

J-PARC / ANNRI における即発ガンマ線分析法開発 (藤 暢輔)	1
113 番新元素の合成 (森本幸司)	10
113 番元素の命名権、日本へ! (工藤久昭)	17

特集 2015 年度学会賞

学会賞 (日本放射化学会学会賞選考委員会)	23
学会賞受賞者による研究紹介 (鄭 建)	25

特集 2015 日本放射化学会年会 若手優秀発表賞受賞者による研究紹介

福島第一原発事故で放出した放射性粒子の生成プロセス (佐藤志彦)	35
ウシの歯の Sr-90 と Cs-137 濃度を指標とした環境中からウシへの取り込みの 時間変化の解析 (小荒井一真)	37
105 番元素 Db の化学実験のための Aliquat 336 樹脂を用いた Nb, Ta のフッ化水素酸中 からの固液抽出 (佐藤大輔)	41
MA/Ln 分離における mono-triazinyl-phenanthroline 系抽出剤の合成とその性能評価 (亀澤明憲)	43
東京湾と千葉県都市河川の底質における福島第一原発事故由来の放射性セシウムの 鉛直分布 (添盛晃久)	45
陽電子消滅時刻運動量同時測定法による Ar ガス中での Ps 熱化過程 (佐野陽祐)	48

特集 研究室紹介 - 2015 若手の会から -

2015 日本放射化学会年会・第 59 回放射化学討論会 若手の会 (小森有希子)	52
広島大学放射線反応化学研究グループ (金子政志)	53
徳島大学大学院放射線理工学分野先端放射分析化学研究室 (武田晋作)	55

編集後記

「放射化学の事典」(朝倉出版) 刊行によせて (海老原充)	56
-------------------------------------	----

会議報告

原子力総合シンポジウム 2015 開催報告 (松岡 猛).....	58
第 4 回環境放射能除染研究発表会・国際シンポジウム (森田昌敏)	59
第 54 回核化学夏の学校 (横山明彦).....	60
2015 放射化学会年会・第 59 回放射化学討論会 実施報告 (関根 勉)	62
大阪大学 医・理・核物連携「新規医療イノベーションのためのシンポジウム 2015」(篠原 厚).....	68
第 10 回高崎量子応用研究シンポジウムの報告 (山崎翔太).....	71
第 2 回核医学治療国際シンポジウム (鷺山幸信)	73
Pacificchem2015 シンポジウム 「The Expanding Periodic Table: New Discoveries & Chemistry of the Heaviest Elements」(永目諭一郎)	76
Pacificchem2015 シンポジウム 「Isotope Production-Providing Important Materials for Research and Applications」(初川雄一)	78
Pacificchem2015 シンポジウム 「Fukushima and Radiological Contaminated Environments World-wide: The Important Role of Environmental Chemistry and Radiochemistry in Remediation and Restoration」(佐々木隆之)	80
Pacificchem2015 シンポジウム 「Nuclear Probes in Nanoscale Characterization」(山田康洋).....	82
Pacificchem2015 シンポジウム Experimental and Theoretical Actinide Chemistry: From Fundamental Systems to Practical Applications (矢板 毅)	84
Pacificchem2015 シンポジウム 「Radioactive Contaminants and Waste Management in the Environment」(大貫敏彦)	86
Pacificchem2015 シンポジウム 「Science with Beams of Radioactive Isotopes」(羽場宏光)	88

時過ぎて

Gregory Robert Choppin 先生 (1927-2015) (葉袋佳孝)	91
--	----

情報プラザ (国際国内会議)	94
----------------------	----

学会だより	95
-------------	----

「放射化学」論文編集委員会規定	101
-----------------------	-----

賛助会員リスト

広告

表紙の説明

113 番元素の同位体 $^{278}\text{113}$ が α 壊変を繰り返していく様子 (提供: 理化学研究所)。

解 説

J-PARC / ANNRI における即発ガンマ線分析法開発 Development of prompt gamma ray analysis at J-PARC / ANNRI

藤 暢輔、海老原充、黄 明輝、木村 敦、中村詔司、原田秀郎

(¹ 日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター、² 首都大学東京 大学院理工学研究科)

Yosuke Toh^{1,*}, Mitsuru Ebihara², Minghui Huang¹, Atsushi Kimura¹,
Shoji Nakamura¹, and Hideo Harada¹

¹Nuclear Science and Engineering Center, Japan Atomic Energy Agency

²Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Metropolitan University

要旨

中性子即発ガンマ線分析 (PGA) は、中性子捕獲反応に伴って放出される即発ガンマ線により元素分析を行う方法で、迅速に多元素を非破壊分析出来るという特長がある。そのため、宇宙化学・環境・考古学・材料など幅広い分野で用いられ、多くの研究に貢献している。PGA はこれまでに同時計数法や反同時計数法によって検出限界や峻別性能の改良がおこなわれてきたが、大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の物質・生命科学実験施設 (MLF) における大強度パルス中性子ビームによって、飛行時間法を用いた即発ガンマ線分析 (TOF-PGA) の利用が可能となった。本稿では同時計数法による即発ガンマ線分析 (MPGA) のほか、MLF に設置された中性子核反応測定装置 (ANNRI) の概要と本装置によって可能となる TOF-PGA について解説する。

キーワード

即発ガンマ線分析、飛行時間法、パルス中性子ビーム、大強度陽子加速器施設、物質・生命科学実験施設、中性子核反応測定装置 (ANNRI)

Key words

Prompt gamma ray analysis, time of flight, Pulsed neutron beam, J-PARC, MLF, Accurate Neutron Nucleus Reaction Instrument (ANNRI)

1. はじめに

中性子ビームを試料に照射すると、中性子が試料中の原子核と捕獲反応を起こす。その際に放出する即発ガンマ線を測定すれば、ガンマ線のエネルギーから定性分析、その本数から定量分析を行うことができる。この分析法は中性子放射化分析法の一つであり、中性子即発ガンマ線分析、もしくは単に即発ガンマ線分析 (prompt gamma ray analysis: PGA) と呼ばれている。PGA は非破壊で多元素同時定量が可能であり、透過力の高い中性子とガンマ線を利用しているため、バルク試料

の分析に用いることが出来る。また、ガンマ線のエネルギーは元素 (核種) 毎に異なるため、多元素 (核種) を同時に定量することが出来る。これらの特長から、貴重な試料 (例えば隕石、土器、金属器など) や破壊分析が困難な試料 (例えばガラス、プラスチックなど) 等の分析に有効であり、宇宙化学・環境・考古学・材料など幅広い分野で重要な研究成果をもたらしてきた [1,2]。

中性子と標的核が持つエネルギーと複合核の励起準位のエネルギーが等しくなる場合にきわめて強い反応、いわゆる共鳴反応が起こる。この共鳴

* toh.yosuke@jaea.go.jp

捕獲反応を用いる分析法は中性子共鳴捕獲分析 (neutron resonance capture analysis: NRCA) と呼ばれ、飛行時間法によって中性子のエネルギー弁別を行い、得られる共鳴ピークのエネルギーとその強度から分析を行う。NRCAはPGAほど普及していないが、PGAと同じく多元素を同時に非破壊で分析する事が可能であるため、考古学や材料などの分野で用いられている [3,4]。

PGAとNRCAは共に優れた特長を有する元素分析法であり、検出限界や峻別性能の更なる向上を目指した研究開発も行われてきた。本稿では、まずPGAに同時計数法を適用した多重即発ガンマ線分析 (MPGA) の特長を従来法との比較を交えて解説し、PGAとNRCAを組み合わせた新しい即発ガンマ線分析法について述べる。

2. 多重即発ガンマ線分析

JRR-3Mのビームホールには、熱中性子ビームライン T1-4-1 にPGA装置 [5,6]、冷中性子ビームライン C2-3-2 にMPGA装置 [7] が設置されているが、全く異なるアプローチによってシグナル・ノイズ比の改善が行われている。PGA装置では、ガンマ線のスペクトルからコンプトン散乱による連続バックグラウンドを取り除くためのBGO検出器と厚い鉛によるガンマ線遮蔽によってGe検出器が覆われており、試料を照射する本体部の内側は中性子遮蔽としてLiFのタイルが張られている。また、試料からGe検出器までの距離は25cm程度とっており、その間に鉛製のコリメータなどを挿入することによってバックグラウンドガンマ線を押さえ、試料から放出されるガン

マ線だけを効率的に検出できるように設計されている。つまり、シグナルの強度をある程度犠牲にし、可能な限りノイズを小さくすることによって高いシグナル・ノイズ比を達成している。MPGAとは同時計数法を適用したPGAである [8-10]。MPGA装置ではコンプトンサプレッサーとしてのBGO検出器と中性子遮蔽のためのLiFタイルを設置しているところは同じであるが、試料からGe検出器までの距離は約5cmと非常に試料に近接して設置されている。このような検出器体系では試料からのガンマ線の強度 (ガンマ線の検出効率) は高くなるが、試料以外からのバックグラウンドガンマ線も高くなってしまふことがある。そのため、MPGA装置のシングルスペクトル上のガンマ線ピークのシグナル・ノイズ比は、PGA装置と同じか、それよりも小さくなる。これはMPGA装置がコインシデンススペクトル上のシグナル・ノイズ比が出来る限り大きくなるように設計されているためである。このことはシングルスペクトル上のシグナル・ノイズ比がMPGAにおいて重要でないという事を意味するものではなく、むしろ重要なパラメータである。それにも関わらずシングルスペクトル上のシグナル・ノイズ比をある程度犠牲にしたセットアップとなっている理由は、コインシデンススペクトル上における検出限界においてガンマ線の検出効率がもう一つの重要なパラメータとなっており、シグナル・ノイズ比 (ほぼ Peak to total:P/T に比例) と検出効率を同時に向上させることが難しいためである [7]。Fig. 1はガンマ線の検出効率が1%の時にPGAによって一定時間測定した場合の検出限

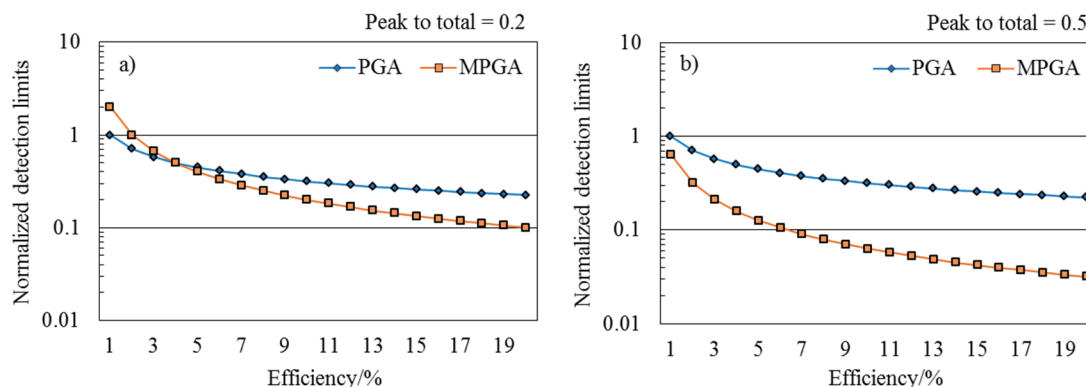


Fig. 1 Normalized detection limits of PGA and MPGA are shown; (a) Peak to total ratio =0.5; (b) peak-to-total ratio = 0.2

界に規格化し、検出効率によってPGAとMPGAによる検出限界がどのように変化するかを示したものである（ガンマ線の分岐比やエネルギーによる検出効率の変化は考慮していない）。Fig.1aはP/Tが0.2、1bは0.5の場合であるが、どちらの場合においてもPGA、MPGA共に検出効率が大きくなるにつれて検出限界が改善されることが分かる。P/Tによる違いは明らかで、P/Tが小さく（0.2）、かつ検出効率が低い場合にはMPGAがPGAよりも検出限界が悪くなってしまっている。開発コストを無視できればP/Tと検出効率の両方を向上させることも可能であるが、MPGA装置ではコストパフォーマンスも勘案して、適度な値となるように設計されている。このようにMPGA装置による測定では、理想的な場合においてコインシデンススペクトルを解析することによって検出限界を向上させることが出来る[11-13]。しかしながら、MPGAの利点は検出限界の向上だけではなく、むしろ後述する高確度化の方が重要である事を強調しておきたい。そのため、P/Tが低く、かつ検出効率が小さい測定体系であってもMPGA測定を行う意義は大きい。

Fig. 2に国立環境研究所の精米標準試料（CRM No.10）を測定した際に得られたスペクトルを示す。この精米には1.82ppmのCdが含まれるため、Cdのピークが558および651keVに検出された。その他、図中に示すようにK, Cl, S, C, Nなどの元素のピークも確認できた。PGAとMPGA

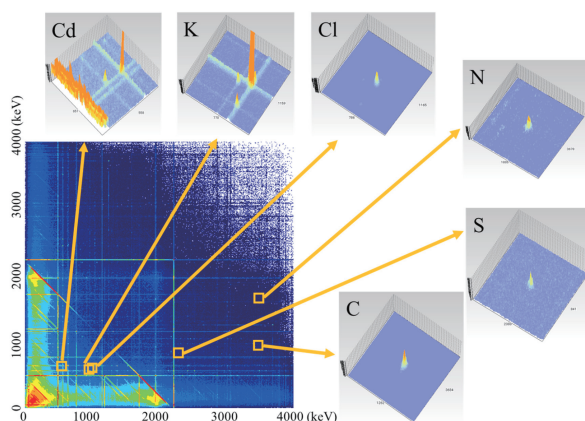


Fig. 2 MPGA spectrum of NIES Certified Reference Material No.10 (CRM No.10) "Rice Flour-Unpolished".

のスペクトルを比較するため、欧州標準物質・測定研究所の標準プラスチック試料BC681のCdの558keVピーク近傍のスペクトルをFig. 3に示す。PGAスペクトルもMPGA装置で得られたスペクトルであり、MPGAのスペクトルはPGAスペクトルと比較するために558keVのガンマ線とペアとなる651keVのガンマ線でゲートをかけた射影スペクトルとなっている。Cdのピークに注目するとMPGAではPGAに比べてシグナル・ノイズ比が改善されていることが分かる。

MPGA装置のもう一つの特長は、峻別性能が高く確度の高い結果が容易に得られることである。学術・産業利用を問わず、分析結果の間違ひは深刻な問題を引き起こしかねない。常に正しい結論を導くためには確度の高い測定が必要不可欠であるため、高確度測定はMPGAの特筆すべき利点であると言える。Fig.4aに欧州標準物

Table 1 Candidate gamma rays in Fig.4.

E_{γ} / keV	$I_{\gamma} / \%$	Nucleus
514.00	37.66	Ir-194
514.20	70.16	Ce-136
514.80	7.89	Rb-85
514.84	12.5	Ra-226
514.86	100.0	Yb-174
515.02	7.09	Pd-108
515.11	10.71	Ir-194
515.60	29.41	Os-186
516.00	31.78	Ar-40
516.04	5.19	Se-74
516.36	6.42	Sm-150
516.60	13.40	Pr-141
516.72	7.12	Sm-152
516.78	11.18	Nd-146
517.07	85.09	Cl-35
517.11	18.69	Pt-196
517.18	6.72	Os-192
517.29	7.46	Te-126
517.44	9.70	Nd-148
517.60	24.0	W-186
517.78	6.96	Ge-70
517.95	8.33	In-115

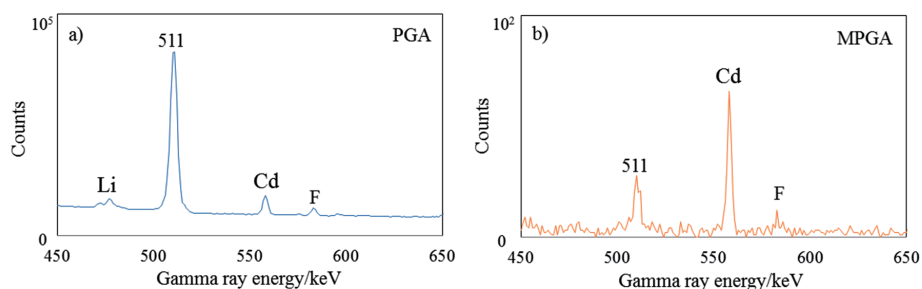


Fig. 3 Comparison of (a) PGA and (b) MPGA spectra of CRM No.10.

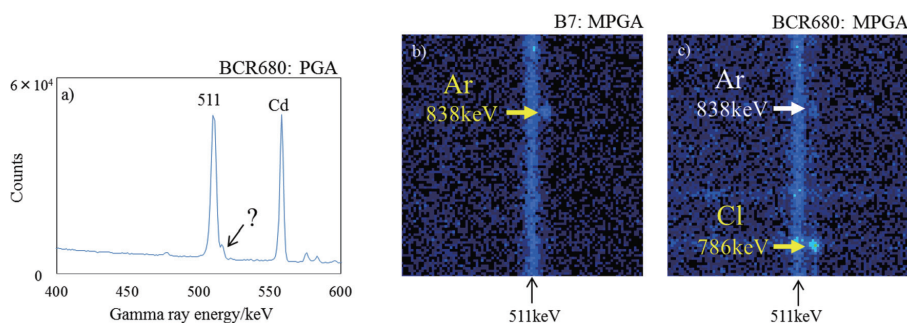


Fig. 4 Comparison of (a) PGA and (b,c) MPGA spectra of IRMM Certified Reference Materials BCR-680 (and B7) "Polyethylene".

質・測定研究所の標準プラスチック試料である BCR680 を測定して得られたスペクトルの一部を示す。PGA スペクトルでは、電子・陽電子の対消滅ガンマ線である 511keV の強いピークが観測される。その対消滅ピークの高エネルギー側にもピークが確認されるが、このガンマ線の候補となる核種は多く、ガンマ線のエネルギーからだけでは特定が困難である。Table.1 に候補となりうるガンマ線のリストを示す。これは National nuclear data center (NNDC) の Thermal Neutron Capture Gamma's (CapGam) において 514keV から 518keV までで相対強度が 5% 以上であるガンマ線だけを示したものであるが、それでも多くの核種が該当する。Fig. 4b と 4c にそれぞれ B7、BCR680 試料を測定した際の MPGA スペクトルを示す。どちらも中央に 511keV の対消滅ピークとコンプトン散乱成分による縦断する線が確認される。Fig. 4b の B7 試料では、511keV の高エネルギー側に 1 つのピークだけが確認され、ペアとなるもう一方のガンマ線エネルギーが 838keV であることから、Ar のガンマ線であることが同定される。一方、Fig.4c の BC680 試料では、高エ

ネルギー側に 2 つのピークが観測され、ペアとなるガンマ線のエネルギーが、838keV、768keV であることから、それぞれ Ar と Cl のガンマ線ピークであることが同定出来る。つまり、BCR680 の場合、PGA スペクトルでは 1 つのピークに見えるものが MPGA スペクトルでは 2 つのピークに分離している。このように、複雑な元素構成を持つ試料を測定した場合には PGA スペクトル上で 2-3 本のガンマ線ピークが重なる事もあり解析ミスの原因ともなりかねないが、MPGA による解析を行えばミスを大幅に低減することが出来ると考えられる。

これらの特長のため、MPGA は宇宙化学や環境試料などの測定に用いられており [14-18]、今後もこれらの研究や原子力分野などにおいて成果が得られるものと期待される。

3. 中性子核反応測定装置 (ANNRI)

大強度パルス中性子ビームを用いた即発ガンマ線分析法を解説する前に、本手法を実現可能とした装置である中性子核反応測定装置 (ANNRI) [19,20] の概略を述べる。中性子核反応測定装置

(ANNRI)は大強度陽子加速器施設(J-PARC)の物質・生命科学実験施設(MLF)のBL04に設置されており(Fig. 5)、主に核データ測定、天体核物理と元素分析に用いられている[21-27]。MLFのモデレータは3種類あり、結合型、非結合型、ポイズン型モデレータと呼ばれているが、ANNRIではその中ですべての中性子エネルギー領域で最も高い強度が得られる結合型モデレータを利用している[28]。また、ANNRIのビームラインはストレートラインであり、幅広いエネルギーの中性子を利用することができる。モデレータから21.5m位置に7個のGe結晶から構成されるクラスターGe検出器が2台と同軸型Ge検出器8台、及びコンプトンサプレッサーとして用いているBGO検出器から構成されるガンマ線測定装置が設置され、27m位置にはNaI検出器が設置されている。Ge検出器とNaI検出器は、検出器の特性と測定可能な中性子エネルギー領域から相補的に利用されているが、Ge検出器は主に元素分析のほか核データ、天体核物理、基礎物理実験に用いられ、NaI検出器は主に核データ、天体核物理実験に用いられている。

検出器の上流部分には中性子ビームを成形するための装置が設置されており、上流側から説明する。

モデレータから11.5m位置にはXステージコリメータが設置されている。27mmφと15mmφの大きさのコリメータがあり、主に中性子のビーム強度が強すぎる場合に、その強度を低減するた

めに用いられている。

13mの位置にはT0チョッパーが設置されており、鋼鉄製の厚いブレードによってガンマフラッシュと高速中性子をカットすることができる。

14m位置には12.5mmと25mm厚のPbおよび適度な厚さのMn、Co、In、Ag、Cd、Alの板から構成されるフィルターユニットが設置されている。これらの板はそれぞれ独立にビームライン上に挿入でき、Pbの板はガンマフラッシュの抑制のために用い、その他の板は中性子バックグラウンドを決定する際に用いる。Mn、Co、Inなどは適度なエネルギーと大きさの共鳴を持っており、ビームライン上に入れた状態で使用した場合、それらの主要な共鳴のエネルギーを持った中性子が透過出来ない厚さを持っている。そのため、それらの板を挿入した状態で測定すると、飛行時間スペクトル上で共鳴による凹み(ノッチ)が観測される。中性子のバックグラウンドが無い理想な場合にはその凹み部分のイベント数はゼロとなるため、凹み部分のイベント数からバックグラウンド中性子の量が決定できる。この装置は、そのスペクトルの形状からノッチフィルターとも呼ばれている。

15m位置にはダブルディスクチョッパーが設置されている。本装置は半円形のアルミ板に炭化ホウ素を塗布した板が2枚重なった構造をしており、ビームライン上でパルス中子と同期させて回転させ、2枚の板によって開口角度を調整する

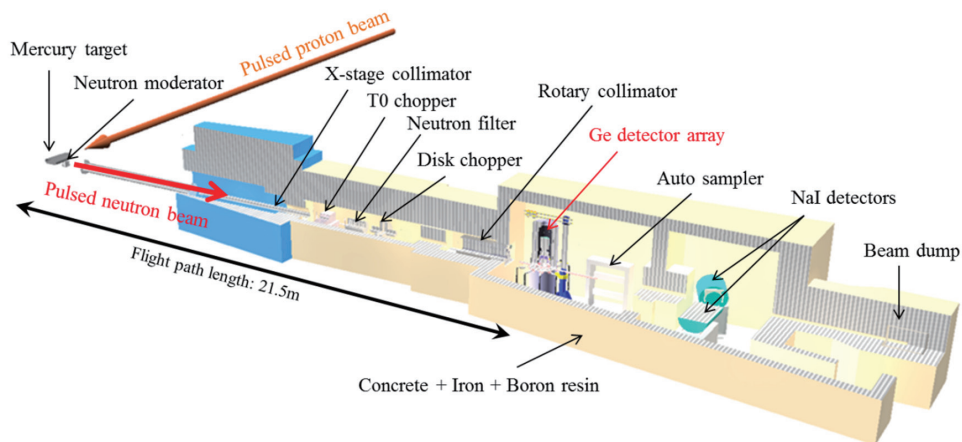


Fig. 5 Cut-away, schematic drawing of the ANNRI facility.

ことによって特定のエネルギーの中性を切り出すことが出来る。さらに、非常に遅い中性子は、モデレータから測定位置までの飛行中に速い中性子に追い越されてしまう。これはフレームオーバーラップと呼ばれ、高い中性子エネルギー領域の測定精度を悪化させてしまうため、この原因となる非常に遅い中性子をカットするためにも使用されている。

17m の位置には長さ 3m 程度の回転式コリメータであるロータリーコリメータが設置されている。ANNRI では様々な分野の実験が行われているが、実験毎に最適な中性子ビームの大きさが異なるため、それに対応して簡便にビーム径を変更するための装置である。一度に挿入できるコリメータは 4 種類であり、6mmφ, 7mmφ, 22mmφ, 15mm 角のものが入れている。コリメータを変更する事も可能であり、上記の他に 40mm 角のコリメータも利用可能である。

4. 飛行時間法による即発ガンマ線分析

ANNRI では MLF にある核破碎中性子源からの大強度パルス中性子ビームを利用する事ができる。時間構造を持つ中性子ビームの大きな利点は飛行時間法を効果的に利用する事が出来る事にある。そのため、ANNRI では PGA を行う事ができるほか、高エネルギーの中性も利用できるため、中性子捕獲反応における共鳴を使った分析法である NRCA も行う事が出来る。元素（核種）の同定のために PGA ではガンマ線のエネルギーを用い、NRCA では中性子のエネルギーを用いるため、PGA と NRCA では性質の異なる情報が得られる。もし、同じ検出器でガンマ線と中性子のエネルギーを取得すれば、それらの相関も利用した新しい分析（TOF-PGA）もできるはずである。しかし、これまで PGA と NRCA では、それらの手法に最適な種類の検出器が用いられており、同じ検出器を用いて同時に測定することが出来る施設は無かった。その理由の一つに、相関を利用するという事は「共鳴毎のガンマ線」もしくは「ガンマ線毎の共鳴」スペクトルを解析することになり統計が著しく悪くなってしまうため、大強度のパルス中性子ビームを必要とすることがあげられる。PGA ではその断面積の大きさから冷中性子

もしくは熱中性子を用いるため、スーパーミラーによって殆どロスすることなく遠方まで運ぶことが可能である。一方、NRCA では共鳴領域での測定を行う必要があることから速中性子を用いなければならないが、曲げたり収束したりすることが困難であるため、中性子源（モデレータ）からの距離の 2 乗に反比例して中性子強度が減少してしまう。しかし、PGA で用いられる Ge 検出器はシンチレータ系検出器に比べて時間特性が悪いため、飛行時間法によって共鳴を分離した状態で測定するためにはある程度の飛行距離が必要であることから、J-PARC における大強度パルス中性子ビームが TOF-PGA の実現には必要不可欠であった。もちろん、速中性子を含むパルス中性子ビームがあれば、原理的には TOF-PGA を行う事は可能であるが、現実的には J-PARC 程度の中性子強度がなければ統計が悪くなり、多くの場合においてメリットを享受できない。

ANNRI では大強度パルス中性子ビームの利用に加え、多数の Ge 検出器を中性子ビームに近接させて設置してガンマ線の検出効率を出来る限り大きくしてある。その結果、中性子ダメージに弱い Ge 検出器が試料等によって散乱される大強度の高速中性子に曝されるため、出来る限り遮蔽する必要がある。冷・熱中性子であれば、 ${}^6\text{LiF}$ タイル等の ${}^6\text{Li} (n, \alpha) {}^3\text{H}$ 反応によって余計なガンマ線を出さずに簡単に遮蔽することができるが、高速中性子の場合には ${}^6\text{Li} (n, \alpha) {}^3\text{H}$ の反応断面積が小さくなるため、H との弾性散乱などによって中性子を減速させてからでないと十分な遮蔽が出来ない。そのため、 ${}^6\text{LiF}$ の他に ${}^6\text{LiH}$ も用いて中性子遮蔽体を形成している。また、大強度中性子ビームと多数の Ge によってもたらされる高イベントレートに対応するため、VME ベースのデータ収集系を開発した [29,30]。データ収集系は ADC と DSP (Digital Signal Processor) を搭載したエネルギーボードとタイミングボード、FPGA (Field-Programmable Gate Array) を搭載したコインシデンスボードによって構成されており、Ge 検出器-Ge 検出器との同時計数測定、BGO 検出器-Ge 検出器との反同時計数測定、および中性子飛行時間測定を一度に行える。これらのボードは高速化のためにバッファを多段階に配置し

ており、データ収集におけるデッドタイムを求める事が容易ではないため、ランダムパルサーを用いたデッドタイム補正法も開発した [31]。これらによって、PGA と NRCA を同時に行う事を可能とした。つまり、Ge 検出器でガンマ線を測定すると同時に、飛行時間法によって中性子のエネルギーを決定している。飛行時間法は、加速器のトリガー、つまり陽子パルスが水銀ターゲットに入射される時間を起点とし、Ge 検出器がガンマ線を検出した時間を終点としている。これは試料から放出されたガンマ線が Ge 検出器に入る時間は無視できるほど小さいため、Ge 検出器がガンマ線を検出した時間は中性子が試料中の核種と捕獲反応を起こした時間と見なせるためである。加速器トリガーは実際のビームから 6 マイクロ秒ほどの遅延があるが、データ収集のトリガーはガンマ線であるため時間的巻き戻しが可能であり、この遅延に関係なくデータを取得できる（空白時間がない）。

PGA と NRCA と同時に行うことによって PGA と NRCA の 2 つの結果が同時に得られるだけでなく、2 つの分析手法の融合による相乗効果が得られる [32]。つまり、PGA でも NRCA でも測定が困難であるものが分析できるようになった。この新しい手法は前述のとおり TOF-PGA と呼んでおり、同様に TOF を MPGA に適用したものは TOF-MPGA と呼んでいる。まとめると、ANNRI の測定では PGA、TOF、TOF-PGA、MPGA、TOF-MPGA の 5 種類のスペクトルを一度に得ることが出来る。一般的な傾向として、PGA と TOF スペクトルは、統計精度が高いものの分解能は低い。MPGA と TOF-PGA は、PGA や TOF

に比べて統計精度は劣るものの分解能は高い。TOF-MPGA は最も高い分解能を持つが、統計精度は最も悪くなる。目的元素、試料、測定条件、妨害元素の有無などによって解析に適するスペクトルは変わる。MPGA と TOF-PGA に限れば、MPGA はカスケード関係にある 2 つ以上の即発ガンマ線を検出しなければならないという制約があり、TOF-PGA は共鳴を持つ核種だけ適用できるという制約があるため、相補的な関係であると言える。元素毎に最適なスペクトルを選択して解析できることが ANNRI の特筆すべき特長である。また、多くの元素は複数のスペクトルで分析可能であるため、それらの結果を比較検討することも可能であり、その事によっても解析ミスを低減出来ると考えられる。

TOF-PGA で得られる相乗効果の実証実験のため、Co, Cd, Ag, Au, Ta を混合した試料の測定を行った [32]。これらの元素は標準試料やバックグラウンド測定におけるノッチフィルターとして用いられるものであり、単元素試料の場合、PGA でも NRCA でも容易に測定する事が出来るものである。しかし、それらを混合してしまうと、ガンマ線や共鳴が重なり合ってどちらの分析法でも解析が困難になってしまう。Fig. 6 に示すように Co は PGA と TOF のどちらのスペクトルでも重なってしまっている。Co は他にも幾つか強いガンマ線を放出するが、それらも混合した他の元素が出すガンマ線やバックグラウンドガンマ線と重なってしまう。また、Co はカスケード関係にあるガンマ線の強度が相対的に弱いため MPGA にあまり適さない。一方、TOF-PGA の 3 次元スペクトルを Fig.7 に示す。この 3 次元スペクトルか

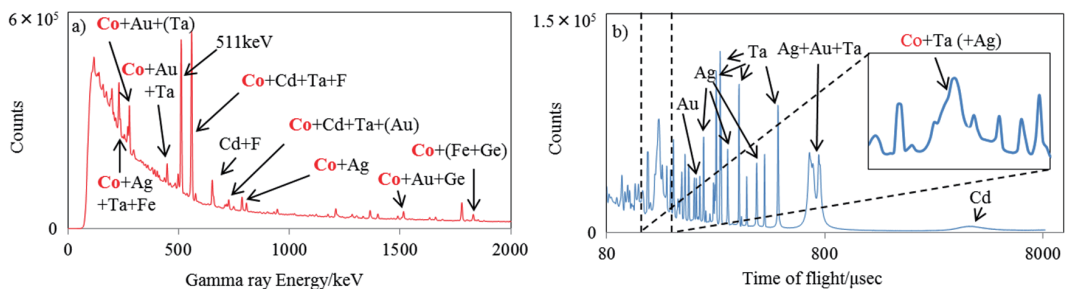


Fig. 6 (a) Prompt gamma-ray energy and (b) time-of-flight spectra of the mixed sample.

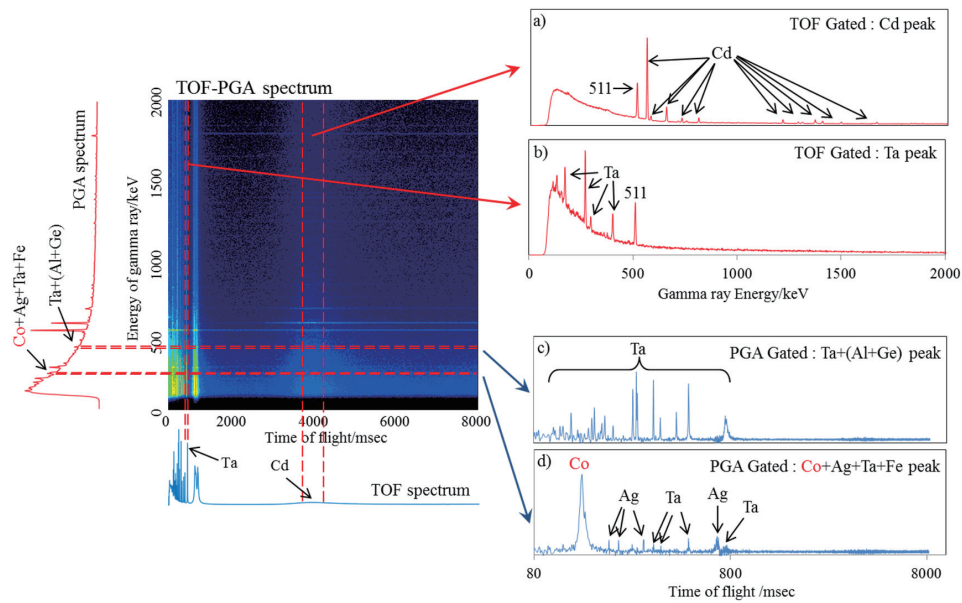


Fig. 7 TOF-PGA spectrum analysis by gating on (a,b) TOF peaks and (c,d) PGA peaks of the mixed sample.

らは、ガンマ線でゲートをかけた TOF スペクトルと共鳴でゲートをかけたガンマ線スペクトルの 2 種類のスペクトルが得られる。どちらのスペクトルでもほぼ純粋な Co のピークが得られ、これを解析する事によって確度の高い分析結果が得られる。もちろん Co 以外の元素にも適用可能であり、Fig.7 では Ta に適用した場合に得られるスペクトルも示してある。Fig.6 と Fig.7 を比べると Ta も Co と同様にシグナル・ノイズ比が改善していることが分かる。

5. まとめ

私達のグループでは、優れた元素分析法として知られている PGA や NRCA を同時計数法や飛行時間法を適用することによって高度化してきた。ANNRI では J-PARC からもたらされる大強度パルス中性子ビームを用いて、PGA、TOF、TOF-PGA、MPGA、TOF-MPGA の 5 種類全てのスペクトルを一度に得る事が可能である。それぞれ異なる適用性と特長を持つため、それらを相補的に用いる事によって高精度で、確度の高い定量が可能になる。本手法が原子力のみならず学術、産業などの幅広い分野において必要不可欠なツールとなり、多くの優れた研究成果が得られることを期待

している。

謝辞

本稿で述べた ANNRI の開発研究は、日本原子力研究開発機構、東京工業大学、北海道大学、京都大学等との共同研究、また、ANNRI における TOF-PGA、ならびに JRR-3 における MPGA 開発研究は、日本原子力研究開発機構、首都大学東京、東京大学、産業技術総合研究所等との共同研究であり、共同研究者の方々に深く感謝申し上げます。本研究の一部は科研費 (25246038) の助成による成果を含みます。

引用文献

- [1] M. Failey et al., *Anal. Chem.* 51, 2209 (1979).
- [2] M. Rossbach et al., *Anal. Chem.* 63, 2156 (1991).
- [3] H. Postma et al., *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 271, 95 (2007).
- [4] H. Postma et al., *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 248, 115 (2001).
- [5] C. Yonezawa et al., *Nucl. Inst. And Methods in Physics Research A* 329, 185 (1993)
- [6] C. Yonezawa et al., *J. Radioanal. Nucl. Chem.*

- 193, 171 (1995)
- [7] Y. Toh et al., *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 278, 703 (2008)
- [8] Y. Toh et al., *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 276, 217 (2008)
- [9] P. Ember, *Appl. Radiat. Isot.* 56, 535 (2002).
- [10] R. P. Gardner, *Appl. Radiat. Isot.* 53, 515 (2000).
- [11] Y. Toh et al., *Appl. Radiat. Isot.* 64, 751-754 (2006)
- [12] Y. Toh et al., *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 272, 303 (2007)
- [13] M.A. Islam et al., *Anal. Chem.*, 83, 7486 (2011)
- [14] K. Shozugawa et al., *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 291, 341 (2012)
- [15] Y. Oura et al., *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 291, 335-339 (2012)
- [16] M. Oshima et al., *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 278, 257-262 (2008)
- [17] Y. Murakami et al., *Proc. Radiochim. Acta* 1, 405 (2011)
- [18] Y. Toh et al., *Appl. Radiat. Isot.* 70, 984 (2012)
- [19] M. Igashira, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* 600, 332 (2009).
- [20] H. Harada et al., *J. Korean Phys. Soc.* 59, 1547 (2011)
- [21] T. Katabuchi et al., *Phys. Rev. C* 91, 037603 (2015)
- [22] H. Harada et al., *Nucl. Data Sheets* 119, 61 (2014)
- [23] T. Katabuchi et al., *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A* 764, 369 (2014)
- [24] S. Nakamura et al., *Nucl. Data Sheets* 119, 143 (2014)
- [25] A. Kimura et al., *J. Nucl. Sci. Tech.* 49, 708 (2012)
- [26] K. Hirose et al., *J. Nucl. Sci. Tech.* 50, 188 (2013)
- [27] S. Nakamura et al., *J. Korean Phys. Soc.* 59, 1773 (2011)
- [28] T. Kai et al., *Nucl. Instr. and Meth.* A523, 398 (2004)
- [29] A. Kimura et al., *AIP Conf. Proceedings*, 769, 784 (2005)
- [30] A. Kimura et al., *Conf. Record of IEEE NSS/MIC/RTDS 2008*, Article Number:N30-68 (2008)
- [31] A. Kimura et al., *Conf. Record of IEEE NSS/MIC 2009*, Article Number: N07-03 (2009)
- [32] Y. Toh et al., *Anal. Chem.* 86, 12030 (2014)

Abstract

Prompt gamma-ray analysis (PGA) uses capture gamma rays, which are characteristic of each particular nucleus emitted from a sample while it is being irradiated with neutrons. It has been used as a rapid, nondestructive method for performing both qualitative and quantitative multielemental analysis. Therefore, cosmochemical, environmental, archeological samples and samples from materials science and engineering are analyzed. Although, researchers have endeavored to improve the accuracy and the detection sensitivity in PGA with the coincidence and anti-coincidence methods, further improvements are possible. We developed a new analytical technique (TOF-PGA) that combines prompt gamma-ray analysis (PGA) and time-of-flight elemental analysis (TOF) by using an intense pulsed neutron beam at the Japan Proton Accelerator Research Complex (J-PARC). It allows us to obtain the results from both methods at the same time. Moreover, it can be used to quantify elemental concentrations in the sample, to which neither of these methods can be applied independently, if TOF-PGA is used. TOF-PGA showed high merits, although the capability may differ in terms of the target element and coexisting elements.

解 説

113 番新元素の合成 Synthesis of 113th new element

森本幸司

(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)

Kouji Morimoto*

Nishina Center for Accelerator-Based Science, RIKEN

2-1, Hirosawa, Wako, Saitama, Japan, 351-0198

要旨

理化学研究所仁科加速器研究センターにおいて合成された 113 番元素は、IUPAC、IUPAP 合同作業部会により 2015 年 12 月、正式に新元素として認定された。今後、元素名と元素記号が研究グループにより提案され、元素周期表に記載されることになる。この新元素は、重イオン線形加速器からの ^{70}Zn ビームを ^{209}Bi 標的に照射し融合反応を起こすことにより、原子番号 113、質量数 278 の原子核 $^{278}113$ として合成され確認された。2012 年までに、3 例の $^{278}113$ の合成に成功したが、2 例は 4 回の連続した α 崩壊ののち自発核分裂を起こし、残りの 1 例は 6 回の連続した α 崩壊が観測された。それぞれ既知の核に崩壊連鎖がつながっており、その崩壊様式と良く一致している。本稿は、理研における 113 番元素の合成方法とその結果について解説する。

キーワード

新元素、超重元素、冷たい核融合、加速器、ガス充填型反跳分離装置 (GARIS)

Key words

new element, superheavy element, cold fusion, GARIS, Accelerator

1. はじめに

どこまで重い元素が存在しうるのか？これまで自然界に存在しない重い元素は原子炉や加速器等を使って人工的に合成されてきた。理論的には原子核の存在限界は更に大きな原子番号まで存在し得る事が予測されている。質量公式の一つである KUTY 公式による予測によれば、陽子数 126 と中性子数 184 に比較的寿命の長い“安定の島”が存在する可能性がある。人類が到達しうる最も重い原子核を合成する試みは、自然科学における最大の興味の一つであると言える。現在、日本のみならずロシア、ドイツ、アメリカ等の研究機関に

より、新しい元素の生成に関する研究が精力的に進められている。理研を中心とする研究グループは、2012 年までに 3 例の 113 番元素の合成に成功した。[1-3] 合成には、亜鉛 (Zn: 原子番号 30) とビスマス (Bi: 原子番号 83) の冷たい核融合反応 ($^{209}\text{Bi}(^{70}\text{Zn},n)^{278}113$) が用いられた。2015 年 12 月、これらの成果と孫娘核である ^{266}Bh の合成の成果 [4] に対し、国際純正・応用化学連合 (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) は、 $^{278}113$ を正式に新元素であると認定し、発見者である理研を中心とする研究グループに命名権

* morimoto@riken.jp

を与えるという決定がなされ [5]、アジア初、日本初の元素が周期表に誕生する事となった。2016年4月1日までに、研究グループにより元素名と元素記号が提案されることになる。また、113番元素と同時に115、117、118番元素も新元素として認定され [5,6]、ロシアとアメリカの共同研究グループに命名権が与えられた。Fig. 1に2016年2月時点の元素周期表を示す。これで、元素周期表は第7周期まですべて埋まることとなった。

本研究は、重イオン加速器と気体充填型反跳分離器 Gas-filled Recoil Ion Separator (GARIS) [7] と呼ばれる装置を用いて行われた。GARISは森田浩介博士により開発され、当初理研リングサイクロトロン RIKEN Ring Cyclotron (RRC) と組み合わせられ重元素合成の研究が行われ、新同位体 ^{197}Rn , ^{196}Rn , ^{200}Fr , ^{199}Fr 等の発見 [8-11] で主な成果をあげた。しかし、超重元素の融合反応には RRC では加速可能な最低エネルギーが高すぎる事や融合反応の断面積が非常に小さい事から、より最適なエネルギーで、かつより大強度のビーム供給が渴望されていた。そこで、RIKEN Linear Accelerator (RILAC) [12] の最高エネルギー向上と大強度ビーム化への対策として18GHz-ECR

イオン源 [13]、周波数可変 RFQ 加速器 [14]、Charge State Multiplier (CSM) 加速器 [15] が新たに開発され RILAC に付与された。GARIS は RILAC 照射室へ移設され、同時に各電磁石間距離を最適化することにより収集効率の改善がなされた。これらにより、大強度重イオンビームを利用した効率の高い超重元素探索が可能となった。Fig. 2に、理研重イオン線形加速器施設の概略図を示した。2003年までに移設作業および基礎データの蓄積を終え、RILAC と GARIS を利用した113番新元素の発見を目標とする実験が開始された。融合反応には鉛やビスマスを標的とする冷たい核融合反応 (Cold fusion) を採用した。この方法はロシアとアメリカの共同研究グループが採用している熱い核融合反応 (Hot fusion) よりも融合断面積の観点では不利と予想されていたが、合成された核の α 崩壊連鎖が既知の核につながる可能性が高い事を重視し採用した。まず準備実験として、ドイツ重イオン科学研究所 (GSI) のグループによって行われた108番、110番、111番、112番元素実験の追試を行ない [16-18]、報告されている崩壊連鎖の確認、複合核の励起エネルギー依存性の確認、そして GARIS 中を飛行す

元素周期表

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
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	113	114	115	116	117	118

→ 超重元素 理研が合成した元素

*ランタノイド: La₅₇, Ce₅₈, Pr₅₉, Nd₆₀, Pm₆₁, Sm₆₂, Eu₆₃, Gd₆₄, Tb₆₅, Dy₆₆, Ho₆₇, Er₆₈, Tm₆₉, Yb₇₀, Lu₇₁

*アクチノイド: Ac₈₉, Th₉₀, Pa₉₁, U₉₂, Np₉₃, Pu₉₄, Am₉₅, Cm₉₆, Bk₉₇, Cf₉₈, Es₉₉, Fm₁₀₀, Md₁₀₁, No₁₀₂, Lr₁₀₃

□ 自然界で発見された元素 113, 115, 117, 118番は命名に至っていない。
 ■ 人工合成により発見された元素

Fig. 1 Periodic table of the elements in Dec. 2015. The RIKEN team have fulfilled the criteria for element 113. And the 7th row of the table will be complete.

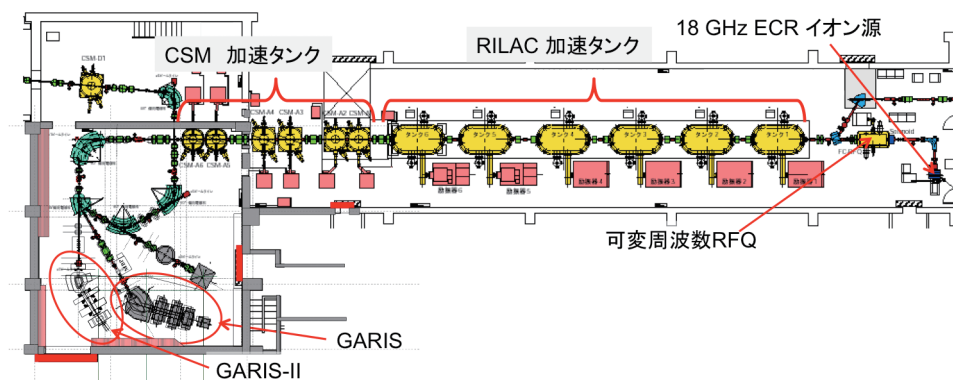


Fig. 2 The figure shows the RKEN RILAC facility. The GARIS was installed at the RILAC experimental hall.

る超重元素の平衡電荷の実験式を導出した [19]。特に、112 番元素の追試実験の成功は、GSI が報告していた 112 番元素の新元素認定につながった。[20]。そして、2003 年 9 月、113 番新元素探索の準備はすべて整い、9 年という長期にわたる実験が開始されたのである。

2. 実験方法

合成およびその確認は、重イオンビームを標的核に照射し融合反応を起こし超重元素合成し、GARIS を用いて目的としない粒子から分離し、最後に検出器へ導入して崩壊過程を観測するという手法により行われる。融合した重い核(複合核)は、通常励起状態にあり、1 個ないし数個の中性子放出によって脱励起する。脱励起した蒸発残留核は入射粒子とほぼ同じ運動量をもって標的から飛び出す。飛行している蒸発残留核は、ビームやその他の目的としない粒子から GARIS により分離され、飛行時間検出器で飛行時間を測定された後、焦点面検出器内に打ち込まれ運動エネルギーが測定される。測定された飛行時間と運動エネルギーから、質量が導出される。焦点面検出器に打ち込まれた蒸発残留核は、検出器のほぼ同じ場所で崩壊する。その場所で連続的に崩壊する信号を選び出す事によって、放射性超重核の検出が行われる。未知の崩壊エネルギーと崩壊時間を持った核種が崩壊して、既知の崩壊エネルギーと崩壊時間を持った核種につながったとき、崩壊を逆にたどる事により未知各種の原子番号と質量数を同定

する事が出来る。Fig. 3 に、113 番元素探索に使用した実験セットアップを示した。

標的は、大強度ビームによって溶解する事を避けるため回転式の標的が採用された。30 ~ 60 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ の炭素薄膜に ^{209}Bi を約 500 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 真空蒸着する事により作製された薄膜状標的は、直径 30 cm の回転式円盤に装着され毎分 2000 回転以上の回転速度で使用された。ビーム強度は最大約 0.8 μA 、平均で約 0.5 μA という強度で照射された。

GARIS は、D1-Q1-Q2-D2 という並びの 4 つの電磁石で構成されており、内部はヘリウムを充填し使用する。蒸発残留核の初期の電荷状態からヘリウム中を移動する際の平衡電荷に変換することにより、高い収集効率を得ることが出来る。D1 と D2 はビーム粒子や標的の反跳粒子と蒸発残留核を分離する役目を持つ双極磁石であり、Q1 と Q2 は蒸発残留核を焦点に収束させる役目を持つ四重極磁石である。これらの電磁石の磁場設定を正しく行うためには、ヘリウム中での蒸発残留核の平衡電荷を知らなければならないが、2003 年までに行なった準備実験から平衡電荷 (q_{av}) = $0.62 \times (v/v_0) \times Z^{1/3}$ という実験式が導き出され磁場設定に適用された。(v_0 は、水素原子のボーア速度 ($c/137 = 2.19 \times 10^6$ m/s) を表している。) ヘリウムガスは、約 85 パスカルの圧力で充填された。本実験の蒸発残留核の収集効率は約 80 % と見積もられている。

検出器は一對の飛行時間測定器と箱型に組ま

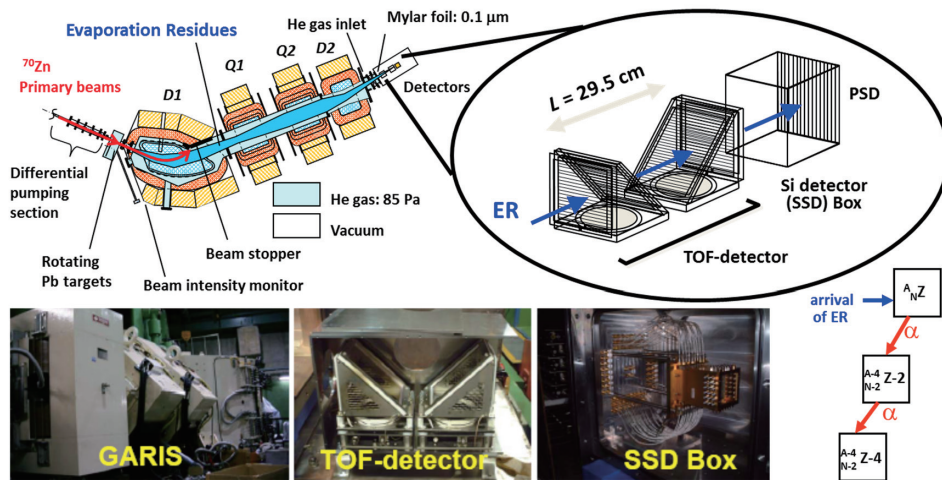


Fig. 3 The schematic view of the GARIS and the detector setup were shown in the upper. The GARIS consists of four magnets in a D1-Q1-Q2-D2 configuration. The detector setup consists of two ToF detectors and position sensitive Si detector box. The Photograph of GARIS, ToF detectors and Si detector box are shown in the bottom.

れた半導体検出器 (SSD-box) により構成されている。飛行時間検出器は、粒子軌道中に挿入した薄膜から放出される二次電子を Micro-Channel Plate (MCP) で増幅し検出する仕組みになっており、約 30 cm の距離を隔て設置されている。時間分解能は約 500 ps (FWHM) である。この飛行時間検出器の下流に SSD-box が設置されている。SSD-box は、5 枚の有感領域 $60 \times 60 \text{ mm}^2$ を持つ半導体検出器で構成されているが、箱の底に相当する検出器は位置検出型の検出器が採用されている。他の 4 枚の検出器は、底面検出器内に打ち込まれた粒子が崩壊する際に α 粒子が上流方向に飛び出す場合があるため、側面でこの粒子を同時検出し α 粒子の検出効率を高める目的で設置されている。SSD-box により、運動エネルギー、崩壊時間、崩壊時の α 粒子もしくは自発核分裂の総合エネルギーと位置情報が検出される。底面検

出器のエネルギー分解能は、5.5 MeV の α 粒子に対して約 40 keV (FWHM) である。

3. 実験結果

理研における 113 番元素探索実験には、 ^{209}Bi 標的に ^{70}Zn ビームを照射しその融合核である $^{278}113$ 番元素を生成する反応が選択された。前述した Cold fusion 反応である。生成された融合核が α 崩壊を繰り返し既知の原子核にたどり着く可能性が高い事が予測されていたからである。113 番元素 $^{278}113$ が合成される様子を Fig. 4 に示した。入射エネルギーは、予備実験として行った ^{272}Ds 、 ^{273}Rg および ^{278}Cn の生成断面積の励起エネルギー依存性から最適値が推定された。具体的には、複合核から中性子が一つ放出された後の核の核分裂障壁よりも約 0.5 MeV 高い励起エネルギーで最大断面積となると見積られ、 ^{70}Zn のエネ

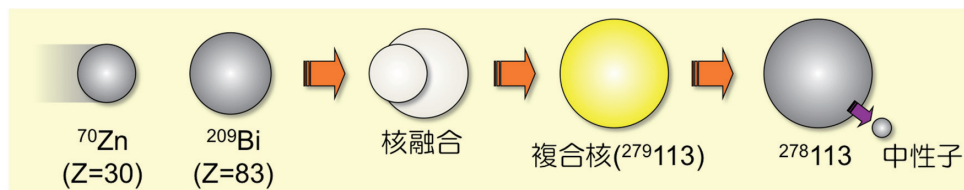


Fig. 4 The figure shows the reaction scheme for the $^{70}\text{Zn} + ^{209}\text{Bi}$. The experiment was designed to produce the isotope, $^{278}113$, by the one-neutron evaporation.

ルギーが標的中心で 349 MeV となるように設定された。

実験は 2003 年 9 月に開始され、3 例の崩壊チェーンを観測し、2012 年 10 月に終了した。延べ照射日数は 576 日におよび、22 fb (フェムトバーン) という原子核実験としては史上最小の生成断面積を記録する実験となった。まず、 ^{209}Bi ($^{70}\text{Zn}, n$) $^{278}\text{113}$ 反応により新元素である $^{278}\text{113}$ を起点とした 4 つの α 崩壊と ^{262}Db の自発核分裂からなる崩壊連鎖が 2004, 2005 年にそれぞれ観測された [1,2]。崩壊連鎖はすでに報告例のある ^{266}Bh と ^{262}Db に到達しており、その報告値と矛盾の無いものであった。しかしながら、既知核とした ^{266}Bh と ^{262}Db の報告例の統計が少ない事、2 例の $^{278}\text{113}$ の崩壊連鎖では、新元素と認められるためには統計的に不十分になってしまう可能性を考慮し、 $^{278}\text{113}$ の孫娘核である ^{266}Bh を生成する実験が計画され実行された。実験は 2009 年に、 ^{248}Cm ($^{23}\text{Na}, 5n$) ^{266}Bh 反応を用いて行われた。こ

の実験により 14 例の ^{266}Bh を起点とする崩壊連鎖を観測し、 ^{266}Bh とその娘核である ^{262}Db を十分な統計量を観測することにより既知核として確立させた [4]。観測された ^{266}Bh と ^{262}Db の崩壊様式 (それぞれの核の α 線のエネルギー、半減期、そして ^{262}Db の α 崩壊と自発核分裂の分岐比) は、2003, 2004 年に観測された $^{278}\text{113}$ からの崩壊で観測されたものと矛盾の無い値であった。その後さらに、 $^{278}\text{113}$ の 3 例目を狙う実験を継続し、2012 年 8 月に 6 つの α 崩壊からなる崩壊連鎖を観測した [3]。新たに観測された崩壊連鎖は、既知核である ^{258}Lr , ^{254}Md にまで到達し、先に観測された $^{278}\text{113}$ を起点とする崩壊連鎖および ^{266}Bh を起点とする崩壊連鎖とも良く一致しており、 $^{278}\text{113}$ の生成を確固たる物とした。Fig. 5 に $^{278}\text{113}$ を起点とした 3 つの崩壊連鎖と、 ^{266}Bh を起点とする崩壊連鎖との崩壊様式の比較を図示した。Fig. 6 には観測された 3 つの崩壊連鎖の崩壊時間分布を示した。3 つの崩壊時間分布の系統性が良く一致

$^{278}\text{113}$ decay chains

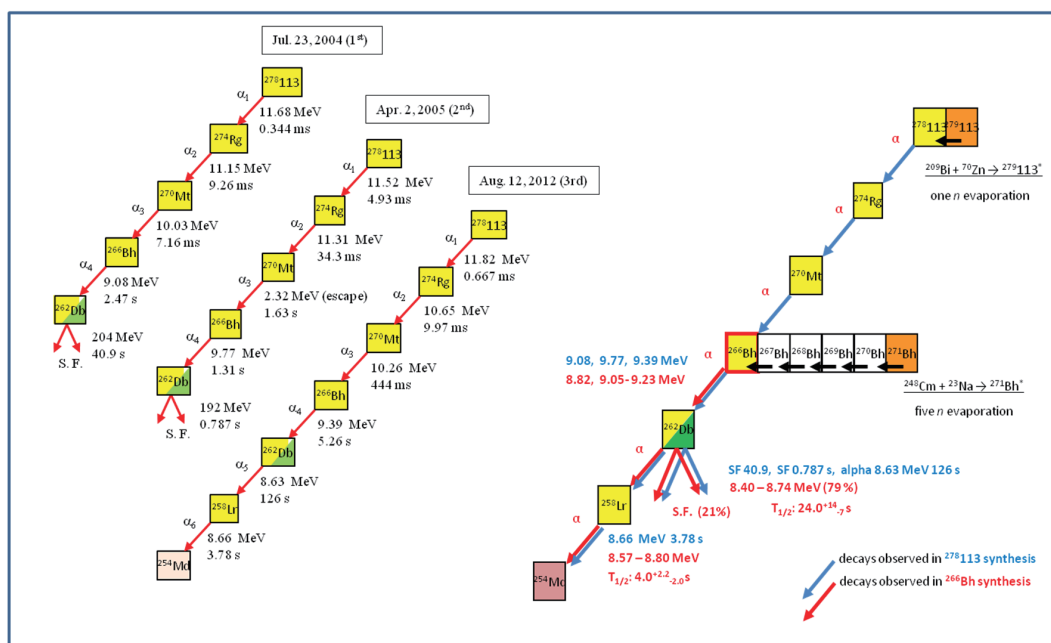


Fig. 5 The figure shows the decay chains related to the $^{278}\text{113}$. Three decay chains observed at RIKEN are shown in left-side. The first two decay chains consist of four alpha decays and ended by spontaneous fission of ^{262}Db . And the third decay chain consists of six alpha decays and connected to ^{254}Md . Right-side figure shows the comparison of the decay property originated from $^{278}\text{113}$ and ^{266}Bh . The decay properties are fully consistent with each other.

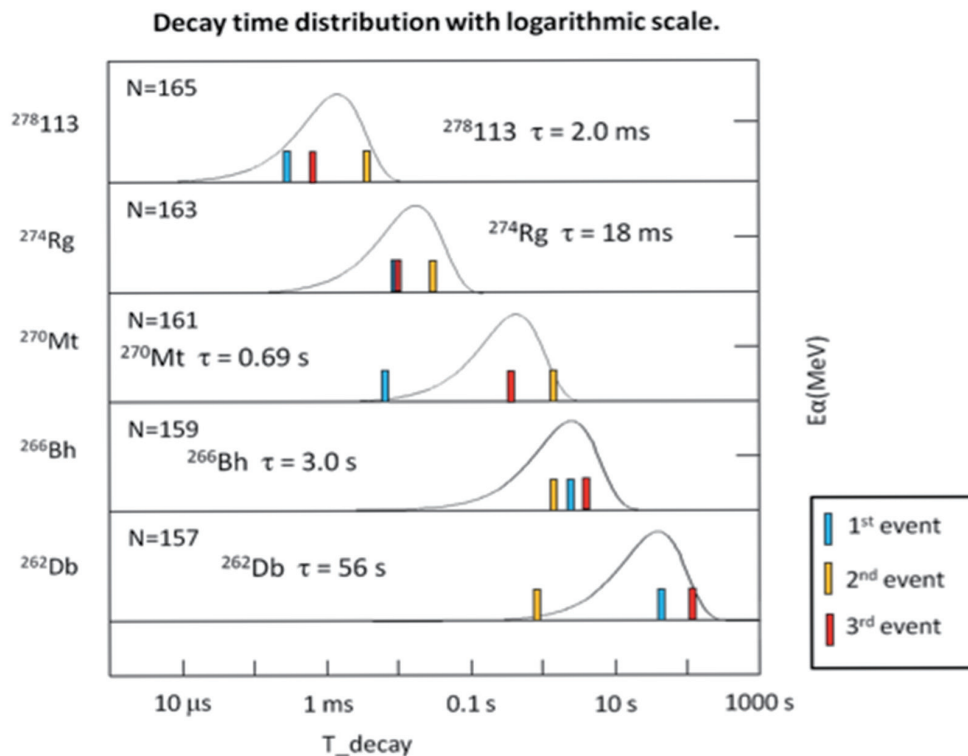


Fig. 6 Decay time distribution of the decay family originating from $^{278}\text{113}$ are shown. The logarithm of the decay time is taken as the abscissa. Mean life times τ determined from three decay chains. Curves correspond to single-exponential decay curves with τ .

している事から、3つの崩壊が同一の原子核からの崩壊であると結論した。

これらの研究成果 [1-4] により、 $^{278}\text{113}$ は正式に新元素であると JWP により認定される事となった。

4. おわりに

本研究は、理化学研究所、東京大学、大阪大学、新潟大学、山形大学、埼玉大学、東京理科大学、東北大学、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、中国科学院高能物理研究所の共同研究者や大学院生が参加し遂行されました。CSM を建設するにあたり、東京大学原子核科学研究センターからの資金協力を得ています。また、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。

引用文献

- (1) K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **73**, 2593 (2004).
- (2) K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **76**, 045001 (2007).
- (3) K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **81**, 103201 (2012).
- (4) K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **78**, 064201 (2009).
- (5) P. J. Karol *et al.*: Pure Appl. Chem. 2016; 88 (1-2) : 139-153
- (6) P. J. Karol *et al.*: Pure Appl. Chem. 2016; 88 (1-2) : 155-160
- (7) K. Morita, *et al.*: Nucl. Inst. Meth. B 70 (1992) 220-225
- (8) K. Morita, *et al.*: Z. Phys. A 352 (1996) 7.
- (9) K. O. Lee, *et al.*: J. Korean Phys. Soc. 29 (1996) 432.
- (10) Y. H. Pu, *et al.*: Z. Phys. A 357 (1997) 1.

- (11) Y. Tagaya, *et al.*: Eur. Phys. J. A 5 (1999) 123.
- (12) M. Odera, *et al.*: Nucl. Instrum. Methods A 227 (1984) 187.
- (13) T. Nakagawa, *et al.*: Nucl. Instrum. Methods A 369 (1997) 9.
- (14) O. Kamigaito, *et al.*: Rev. Sci. Instrum. 70 (1999) 4523.
- (15) O. Kamigaito, *et al.*: Rev. Sci. Instrum. 76 (2005) 013306.
- (16) K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji *et al.*, Eur. Phys. J. A 21 (2004) 257.
- (17) K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. 73 (2004) 1738.
- (18) K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. 76 (2007), 043201
- (19) D. Kaji, *et al.*, Proc. Radiochim. Acta 1, 105-107 (2011)
- (20) R. C. Barber *et al.*: Pure Appl. Chem. 2009; 81, No 7, pp.1331-1343

Abstract

A joint working party of the IUPAC and IUPAP has recommended that the RIKEN research group be given recognition for the discovery of the element 113. Three decay chains originated from $^{278}113$ were observed by using ^{209}Bi ($^{70}\text{Zn},n$) $^{278}113$ reaction. The first and second decay chains consist of four alpha decays and ended by spontaneous fission of ^{262}Db . The third chain consists of six alpha decays connected to the ^{254}Md . Those decay properties are consistent with known properties of ^{266}Bh , ^{262}Db and ^{258}Lr . The experimental method and results are described in this report.

解 説

113 番元素の命名権、日本へ！

工藤久昭*

(新潟大学理学部化学科)

Hisaaki Kudo

Department of Chemistry, Niigata University

Niigata, Niigata 950-2181, Japan

IUPAC (国際純正応用化学連合) は 2015 年 12 月 30 日に原子番号 113,115,117,118 の元素の発見と同定についての報道発表を行った。これが、12 月 31 日早朝、IUPAC から森田氏に伝えられた。113 番元素に関する発見の優先権が理研グループに与えられるという内容のものであった。その日の夕方に理化学研究所で記者会見があり、アジア初の元素命名権獲得のニュースが日本中を駆け巡った！

実は、昨年 8 月 12 日に韓国釜山で開催の IUPAC 総会の議題に「新元素 113,115,117,118 の検証と命名」という項目があり、4 つの新元素の認定について何らかのアナウンスがあるものと思われていた。しかしながらこの時は発見の優先権の認証については報告されなかった。

新元素発見の優先権については、新元素発見の報告をしたグループに IUPAC が要請し、それに応じて提出された論文について、IUPAC と IUPAP (国際純粋応用物理学連合) から選ばれた 5 名の専門家グループ (Joint Working Party, JWP) によって審査される。

今回は、2012 年の 4 月に新元素の発見者候補へのコールがあり、2012 年 5 月 31 日がその締め切りであった。森田氏をリーダーとする理研グループもそのコールに応じて 113 番元素の発見の優先権を主張していた。理研グループの基になった最初の論文は、2004 年 10 月 15 日発行の日本物理学会の論文誌に掲載されたものであり [1]、 ^{209}Bi に ^{70}Zn を照射して 113 番元素を合成したと

するいわゆる冷たい融合反応によるものである。一方、オガネシアンをリーダーとするロシア・ドブナのグループは ^{243}Am に ^{48}Ca を照射して 115 番元素を合成し、その娘核種が 113 番元素であるというものであり、その最初の論文は 2004 年 2 月 2 日発行の米国物理学会の論文誌に掲載された [2]。もし両方のグループとも新元素発見の基準を満たしているならば、ドブナグループの方がわずかに早く発表したことになり、優先権はドブナグループに与えられることになる。

原子番号 113,115,117,118 の元素発見に関しての JWP からの最終報告が、IUPAC Technical Reports として 2016 年 1 月 21 日にオンライン版で発表された。このレポートをもとに、113 番元素発見の優先権に関して簡単に紹介する。レポートでは、発見の優先権を付与するにあたって、IUPAC の要請に応じて提出された 2012 年 5 月 31 日までの論文によるとしている。

発見の基準のもととなる原子番号 (Z) の同定に関しては次の様に考える。複合核の励起エネルギーが低いので、荷電粒子の放出は起こらないだろうことを考えれば、 Z の帰属は単純に標的と入射粒子の Z の和が尤もらしい。従って、崩壊連鎖が既知の原子番号にたどりついていれば、疑いもなく発見の証拠は十分であることになる。もちろん、崩壊連鎖の途中が途切れていないことが不可欠である。一方、崩壊連鎖が、核分裂で終わっている場合は、基準を満たし、優先権を確立したとするには、荷電放出に関する現在の理論の

* hkudo@sc.niigata-u.ac.jp

みでは不十分である。そこで重要になってくるのが、交差反応 (cross reaction) である。例えば、 ^{283}Cn ($Z=112$) の同定にあたって、 $^{238}\text{U}+^{48}\text{Ca}$ で直接合成された場合と、 $^{242}\text{Pu}+^{48}\text{Ca}$ で生成する ^{287}Fl ($Z=114$) の娘核種としての ^{283}Cn 、あるいは $^{245}\text{Cm}+^{48}\text{Ca}$ 反応からの ^{291}Lv ($Z=116$) の孫娘核種としての ^{283}Cn (及びその子孫核) の崩壊が同じであるならば、崩壊連鎖が仮に核分裂で終わっている場合でも、 Z の同定が信頼に足るものとなる。交差反応とは、このように異なる標的と入射粒子の組み合わせから同じ原子核を生成する反応を意味する。(違う組み合わせで同じ複合核を合成する反応、いわゆる cross bombardment とは異なる。)

発見を概観するにあたって困惑の一因となっているのが、 α 線のエネルギーである。奇核の α 線のエネルギーは娘核の励起状態への崩壊があることから、一般に幅広い分布となる。従って、数少ない事象のときには α 線のエネルギーが違ってみえることがある。

両者の報告を少し詳しく紹介する。

[ドブナグループのデータ]

$^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ の反応で $^{288}\text{115} \rightarrow ^{284}\text{113} \rightarrow ^{280}\text{Rg} \rightarrow ^{276}\text{Mt} \rightarrow ^{272}\text{Bh} \rightarrow ^{268}\text{Db}$ という崩壊連鎖を3事象観測したというのが最初の報告である [2]。この観測での3事象のデータ間の一致はよい。異なるエネルギーでもう1事象観測され、それは $^{287}\text{115} \rightarrow ^{283}\text{113} \rightarrow ^{279}\text{Rg} \rightarrow ^{275}\text{Mt} \rightarrow ^{271}\text{Bh}$ (missing α -decay) $\rightarrow ^{267}\text{Db}$ (100 mine) と同定されている。どちらも自発核分裂で終了しており、いずれの核種も既知のものではない。(See Fig. 1)

2007年に $^{237}\text{Np}+^{48}\text{Ca}$ 反応により崩壊連鎖が2事象観測され、 $^{282}\text{113} \rightarrow ^{278}\text{Rg} \rightarrow ^{274}\text{Mt} \rightarrow ^{270}\text{Bh} \rightarrow ^{266}\text{Db}$ と同定されているが [3]、ここでもいずれの核種も既知のものではない。また、この反応と $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ の反応では、同じ核種を見ていないので、交差反応には当たらないことになり、この時点では発見の基準を満たしてることにはならない。

2010年に、 $^{249}\text{Bk}+^{48}\text{Ca}$ 反応により、5事象の $^{293}\text{117}$ から $^{285}\text{113}$ を通る崩壊連鎖と1事象の $^{294}\text{117}$ から $^{286}\text{113}$ の連鎖が観測された [4-6]。これも、図1からわかるように、 $^{243}\text{Am} + ^{48}\text{Ca}$ で

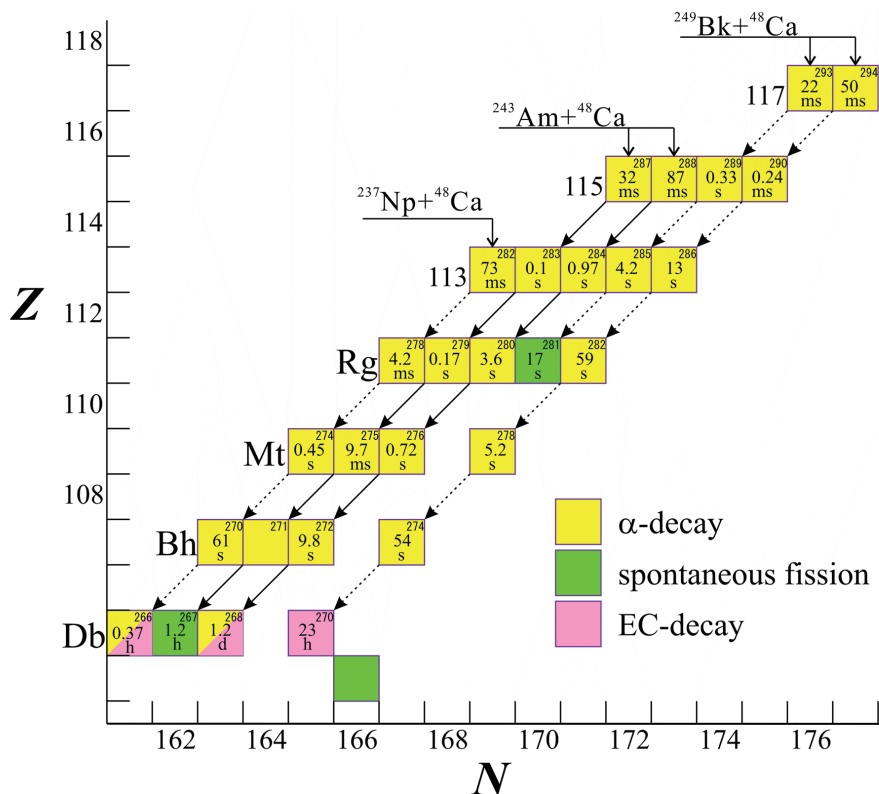


Fig. 1 Part of decay chains reported by Dubna group.

観測された崩壊連鎖とは違うものである。ドブナのグループはさらに $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca}, 2n)$ 反応により $^{289}\text{115} \rightarrow ^{285}\text{113}$ を報告した [7,8]。これは $^{293}\text{117} \rightarrow ^{285}\text{113}$ の交差反応により $^{285}\text{113}$ の同定を証明するものであるが、以前に提案した核種 $^{282,283,284}\text{113}$ とは異なるものである。したがって、優先権を確定することにはならない。ドイツの GSI でも $^{243}\text{Am}+^{48}\text{Ca}$ 反応により、繰り返し実験が行われ [9]、 $^{288}\text{115}$ のデータの補強はされたが、既知の原子核にも届いていなく、交差反応で確認されたわけでもないので、決定的な原子番号の同定ができていないと見做された。

最終生成核種である自発核分裂核種 ^{268}Db ($T_{1/2}=1.2$ d) を化学分離して 115 番元素の合成を証明する方法 [10-12] による Z の決定能力はまだ説得力に欠ける。すなわち、化学分離に関しては、伝統的な同族元素の類似性からでは確固たる同定とはまだなりえない。

以上より、ドブナグループは 113 番元素発見の基準を満たしていないと結論づけられた。

[理研グループのデータ]

最初のデータは $^{278}\text{113}$ から ^{274}Rg 、 ^{270}Mt 、 ^{266}Bh

と α 壊変し、 ^{262}Db の自発核分裂で終わっている [1]。(See Fig.2 chain ①) 次に 2007 年に報告した崩壊連鎖 [13] (Fig.2 chain ②) もほとんど最初のものと同様しているが、 ^{266}Bh の α 線エネルギーの違いや、 ^{262}Db の自発核分裂の寿命の違いがみられたことと、また、それまでに報告 [14] されていた ^{266}Bh の娘核種である ^{262}Db は α 崩壊していることから、113 番元素の崩壊が既知元素にたどり着いているとは見做せないということで、新元素発見の基準を満たしているとは言えないとされていた。すなわち、 $^{278}\text{113}$ の崩壊鎖中の ^{266}Bh は既知とは見做せないということである。

2006 年、Qin らにより $^{243}\text{Am}(^{26}\text{Mg}, 3n)^{266}\text{Bh}$ の反応により生成された ^{266}Bh の崩壊が報告された [15]。さらに、2009 年、理研グループは $^{248}\text{Cm} + ^{23}\text{Na}$ 反応で ^{266}Bh を合成したところ [16]、Qin らデータと極めてよい一致を示し、しかも既知の核種である ^{258}Lr [17] にたどりついている。これは ^{266}Bh が交差反応により確認されたことになる。これより、 ^{266}Bh は崩壊連鎖の中での錨 (anchor) となりうる既知核種であることが確立された。

そして、2012 年、 $^{278}\text{113}$ からよく知られている ^{258}Lr までの崩壊連鎖が観測された [18]。(See Fig.2 chain ③) この崩壊連鎖が前の①や②と同じ

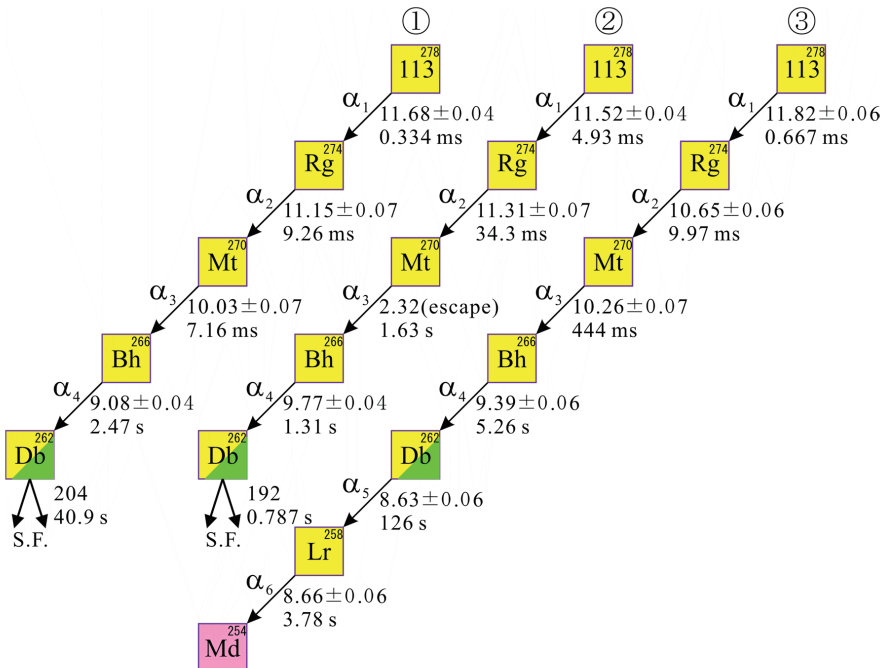


Fig. 2 Decay chain of element 113 reported by RIKEN group.

崩壊連鎖であるかどうか、優先権という意味においては重要である。ここで、 α_1 と α_2 のエネルギーの和をとってみると、3つともほぼ等しいことが分かる。さらに、①と③の $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4$ のエネルギー和もほぼ等しい。これは必要条件ではないが、比較している最初と最後の核が同じであることの証拠のひとつであると判断された。次に大事な点は、既知の核にたどりついているかどうかである。③の α_5 と α_6 がエネルギー、寿命とも既知のデータ [16,17] に一致していることからこれは満たされたことになる。Zの帰属という点に関しては、上述の錨核 (anchor) である ^{266}Bh が再現されたことから、新元素発見のための基準をすべて満たしたことになった。

以上より、113番元素発見の優先権が理研グループに与えられることになり、命名権獲得に至った。

References

- [1] K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji, T. Akiyama, S. Goto, H. Haba, E. Ideguchi, R. Kanungo, K. Katori, H. Koura, H. Kudo, T. Ohnishi, A. Ozawa, T. Suda, K. Sueki, H. Xu, T. Yamaguchi, A. Yoneda, A. Yoshida, Y.-L. Zhao. *J. Phys. Soc. Jpn.* **73**, 2593 (2004).
- [2] Yu. Ts. Oganessian, V. K. Utyonkov, Yu. V. Lobanov, F. Sh. Abdullin, A. N. Polyakov, I. V. Shirokovsky, Yu. S. Tsyganov, G. G. Gulbekian, S. L. Bogomolov, A. N. MeZentsev, S. Iliev, V. G. Subbotin, A. M. Sukhov, A. A. Voinov, G. V. Buklanov, K. Subotic, V. I. Zagrebaev, M. G. Itkis, J. B. Patin, K. J. Moody, J. F. Wild, M. A. Stoyer, N. J. Stoyer, D. A. Shaughnessy, J. M. Kenneally, R. W. Lougheed. *Phys. Rev. C* **69**, 021601 (R) (2004).
- [3] Yu. Ts. Oganessian, V. K. Utyonkov, Yu. V. Lobanov, F. Sh. Abdullin, A. N. Polyakov, R. N. Sagaidak, I. V. Shirokovsky, Yu. S. Tsyganov, A. A. Voinov, G. G. Gulbekian, S. L. Bogomolov, B. N. Gikal, A. N. Mezentsev, V. G. Subbotin, A. M. Sukhov, K. Subotic, V. I. Zagrebaev, G. K. Vostokin, M. G. Itkis, R. A. Henderson, J. M. Kenneally, J. H. Landrum, K. J. Moody, D. A. Shaughnessy, M. A. Stoyer, N. J. Stoyer, P. A. Wilk. *Phys. Rev. C* **76**, 011601 (R) (2007).
- [4] Yu. Ts. Oganessian, F. Sh. Abdullin, P. D. Bailey, D. E. Benker, M. E. Bennett, S. N. Dmitriev, J. G. EZold, J. H. Hamilton, R. A. Henderson, M. G. Itkis, Yu. V. Lobanov, A. N. MeZentsev, K. J. Moody, S. L. Nelson, A. N. Polyakov, C. E. Porter, A. V. Ramayya, F. D. Riley, J. B. Roberto, M. A. Ryabinin, K. P. Rykaczewski, R. N. Sagaidak, D. A. Shaughnessy, I. V. Shirokovsky, M. A. Stoyer, V. G. Subbotin, R. Sudowe, A. M. Sukhov, Yu. S. Tsyganov, V. K. Utyonkov, A. A. Voinov, G. K. Vostokin, P. A. Wilk. *Phys. Rev. Lett.* **104**, 142502 (2010).
- [5] Yu. Ts. Oganessian, F. Sh. Abdullin, P. D. Bailey, D. E. Benker, M. E. Bennett, S. N. Dmitriev, J. G. EZold, J. H. Hamilton, R. A. Henderson, M. G. Itkis, Yu. V. Lobanov, A. N. MeZentsev, K. J. Moody, S. L. Nelson, A. N. Polyakov, C. E. Porter, A. V. Ramayya, F. D. Riley, J. B. Roberto, M. A. Ryabinin, K. P. Rykaczewski, R. N. Sagaidak, D. A. Shaughnessy, I. V. Shirokovsky, M. A. Stoyer, V. G. Subbotin, R. Sudowe, A. M. Sukhov, R. Taylor, Yu. S. Tsyganov, V. K. Utyonkov, A. A. Voinov, G. K. Vostokin, P. A. Wilk. *Phys. Rev. C* **83**, 054315 (2011).
- [6] Yu. Ts. Oganessian, F. Sh. Abdullin, C. Alexander, J. Binder, R. A. Boll, S. N. Dmitriev, J. EZold, K. Felker, J. M. Gostic, R. K. GrZywacZ, J. H. Hamilton, R. A. Henderson, M. G. Itkis, K. Miernik, D. Miller, K. J. Moody, A. N. Polyakov, A. V. Ramayya, J. B. Roberto, M. A. Ryabinin, K. P. Rykaczewski, R. N. Sagaidak, D. A. Shaughnessy, I. V. Shirokovsky, M. V. Shumeiko, M. A. Stoyer, N. J. Stoyer, V. G. Subbotin, A. M. Sukhov, Yu. S. Tsyganov, V. K. Utyonkov, A. A. Voinov, G. K. Vostokin.

- Phys. Rev. Lett.* **109**, 162501 (2012).
- [7] Yu. Ts. Oganessian, F. Sh. Abdullin, S. N. Dmitriev, J. M. Gostic, J. H. Hamilton, R. A. Henderson, M. G. Itkis, K. J. Moody, A. N. Polyakov, A. V. Ramayya, J. B. Roberto, K. P. Rykaczewski, R. N. Sagaidak, D. A. Shaughnessy, I. V. Shirokovsky, M. A. Stoyer, V. G. Subbotin, A. M. Sukhov, Yu. S. Tsyganov, V. K. Utyonkov, A. A. Voinov, G. K. Vostokin. *Phys. Rev. Lett.* **108**, 022502 (2012).
- [8] Yu. Ts. Oganessian, F. Sh. Abdullin, S. N. Dmitriev, J. M. Gostic, J. H. Hamilton, R. A. Henderson, M. G. Itkis, K. J. Moody, A. N. Polyakov, A. V. Ramayya, J. B. Roberto, K. P. Rykaczewski, R. N. Sagaidak, D. A. Shaughnessy, I. V. Shirokovsky, M. A. Stoyer, N. J. Stoyer, V. G. Subbotin, A. M. Sukhov, Yu. S. Tsyganov, V. K. Utyonkov, A. A. Voinov, G. K. Vostokin. *Phys. Rev. C* **87**, 014302 (2013).
- [9] D. Rudolph, U. Forsberg, P. Golubev, L. G. Sarmiento, A. Yakushev, L. L. Andersson, A. Di Nitto, Ch. E. Dullmann, J. M. Gates, K. E. Gregorich, C. J. Gross, F. P. Hesberger, R. D. Herzberg, J. Khuyagbaatar, J. V. Kratz, K. Rykaczewski, M. Schadel, S. Aberg, D. Ackermann, M. Block, H. Brand, B. G. Carlsson, D. Cox, X. Derks, K. Eberhardt, J. Even, C. Fahlander, J. Gerl, E. Jager, B. Kindler, J. Krier, I. Kojouharov, N. Kurz, B. Lommel, A. Mistry, C. Mokry, H. Nitsche, J. P. Omtvedt, P. Papadakis, I. Ragnarsson, J. Runke, H. Schaffner, B. Schausten, P. Thorle Pospiech, T. Torres, T. Traut, N. Trautmann, A. Turler, A. Ward, D. E. Ward, N. Wiehl. *Phys. Rev. Lett.* **111**, 112502 (2013).
- [10] S. N. Dmitriev, Yu. Ts. Oganessian, V. K. Utyonkov, S. V. Shishkin, A. V. Yeremin, Yu. V. Lobanov, Yu. S. Tsyganov, V. I. Chepygin, E. A. Sokol, G. K. Vostokin, N. V. Aksenov, M. Hussonnois, M. G. Itkis, H. W. Gaggeler, D. Schumann, H. Bruchertseifer, R. Eichler, D. A. Shaughnessy, P. A. Wilk, J. M. Kenneally, M. A. Stoyer, J. F. Wild. *Proceedings of the International Symposium on Exotic Nuclei "EXON-2004"*, Peterhof, Russia, 5–12 July 2004. Edited by Yu. E. PenionZhkevich, E. A. Cherepanov, p. 285, World Scientific, Singapore, (2005).
- [11] S. N. Dmitriev, Yu. Ts. Oganessian, V. K. Utyonkov, S. V. Shishkin, A. V. Yeremin, Yu. V. Lobanov, Yu. S. Tsyganov, V. I. Chepygin, E. A. Sokol, G. K. Vostokin, N. V. Aksenov, M. Hussonnois, M. G. Itkis, H. W. Gaggeler, D. Schumann, H. Bruchertseifer, R. Eichler, D. A. Shaughnessy, P. A. Wilk, J. M. Kenneally, M. A. Stoyer, J. F. Wild. *Mendeleev Commun.* **15**, 1 (2005).
- [12] N. J. Stoyer, J. H. Landrum, P. A. Wilk, K. J. Moody, J. M. Kenneally, D. A. Shaughnessy, M. A. Stoyer, J. F. Wild, R. W. Loughheed, S. N. Dmitriev, Yu. Ts. Oganessian, S. V. Shishkin, N. V. Aksenov, E. E. Tereshatov, G. A. Bozhikov, G. K. Vostokin, V. K. Utyonkov, A. A. Yeremin. *Nucl. Phys. A* **787**, 388c (2007).
- [13] K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji, T. Akiyama, S. Goto, H. Haba, E. Ideguchi, K. Katori, H. Koura, H. Kikunaga, H. Kudo, T. Ohnishi, A. Ozawa, N. Sato, T. Suda, K. Sueki, F. Tokanai, T. Yamaguchi, A. Yoneda, A. Yoshida. *J. Phys. Soc. Jpn.* **76**, 045001 (2007).
- [14] P. A. Wilk, K. E. Gregorich, A. Turler, C. A. Laue, R. Eichler, V. Ninov, J. L. Adams, U. W. Kirbach, M. R. Lane, D. M. Lee, J. B. Patin, D. A. Shaughnessy, D. A. Strellis, H. Nitsche, D. C. Hoffman. *Phys. Rev. Lett.* **85**, 2697 (2000).
- [15] Z. Qin, X. Wu, H. Ding, W. Wu, W. Huang, X. Lei, Y. Xu, X. Yuan, B. Guo, W. Yang, Z. Gan, H. Fan, J. Guo, H. Xu, G. Xiao. *Nucl. Phys. Rev.* **23**, 400 (2006).
- [16] K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji, H. Haba, K. Ozeki, Y. Kudou, N. Sato, T. Sumita, A. Yoneda, T. Ichikawa, Y. Fujimori, S. Goto,

- E. Ideguchi, Y. Kasamatsu, K. Katori, Y. Komori, H. Koura, H. Kudo, K. Ooe, A. OZawa, F. Tokanai, K. Tsukada, T. Yamagichi, A. Yoshida. *J. Phys. Soc. Jpn.* **78**, 064201 (2009).
- [17] Y. A. Aكوالي. *Nucl. Data Sheets* **94**, 131 (2001).
- [18] K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji, H. Haba, K. OZeki, Y. Kudou, T. Sumita, Y. Wakabayashi, A. Yoneda, K. Tanaka, S. Yamaki, R. Sakai, T. Akiyama, S. Goro, H. Hasebe, M. Huang, T. Huang, E. Ideguchi, Y. Kasamatsu, K. Katori, Y. Kariya, H. Kikunaga, H. Koura, H. Kudo, A. Mashiko, K. Mayama, S. Mitsuoka, T. Moriya, M. Murakami H. Murayama, S. Namai, A. OZawa, N. Sato, K. Sueki, M. Takeyajma, F. Tokanai, T. Yamaguchi, A. Yoshida. *J. Phys. Soc. Jpn* **81**, 103201 (2012).

特集 2015年度学会賞

学会賞（日本放射化学会学会賞選考委員会）

鄭 建氏（国立研究開発法人放射線医学総合研究所）

受賞題目：人工放射性核種の超高感度同位体質量分析法開発および
環境動態解析に関する研究

鄭建氏は、これまで環境中の様々な放射性核種の分析と動態に関する研究を行い、環境放射化学的に世界的かつ先駆的な研究を極めて多数行っており、その高い研究実績が、今回の受賞につながった。

大量の人工放射性核種が人類の核エネルギー使用に伴い、核実験や原子力発電所事故、さらに使用済み燃料再処理施設などから環境中に放出されてきた。人工放射性核種による環境汚染は人類に放射線被ばくの恐れをもたらすため、様々な人工放射性核種の環境における挙動究明は環境科学における最先端の研究テーマの一つである。他方、放射性セシウム（Cs）やプルトニウム（Pu）、アメリシウム（Am）のような人工放射性核種は、様々な環境移行プロセスを理解するための地球化学分野における有用なトレーサーとして広く用いられてきた。鄭氏は、環境試料中の人工放射性核種の同位体分析のための高精度質量分析法開発を精力的に進め、その分析法を用いて環境地球化学、特に汚染源同定と人工放射性核種の環境挙動について多大な成果を挙げている。これらの研究は主に以下の3つのテーマに関するものであり、その成果について紹介する。

1. 人工放射性核種を対象とする高感度な先端的質量分析法の開発

従来の放射能測定法は人工放射性核種を定量するために広く使用されてきた。しかし、それらの方法は長半減期核種に対しては感度が悪く、精度の高い同位体比の情報を得るには不十分であった。人工放射性核種の環境中の分布と挙動を解明し、その汚染源を同定するためには、非常に高精度な放射性核種の同位体比分析が必要不可欠である。鄭氏は、ICP-MSを用いた植物・土壌・堆

積物や海水等の様々な環境試料中の ^{135}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{241}Am 、 ^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu などの濃度および同位体比の定量法を開発した。特に様々な化学的工夫やICP-MS/MS法、高分解能ICP-MS法、高効率試料導入装置などの最先端技術を用いることにより、極めて感度の高い分析法の開発に成功している。特にPuについては、海洋沈降粒子や少量（20 L）の海水中の $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比の分析や ^{241}Pu （14.4年）の定量にも成功している。これらの革新的分析技術は、以下の2および3の環境動態研究の展開の基礎となっている

2. Puの海洋輸送プロセスの解明および地球化学的トレーサーとしての利用

Puは主に大気圏内核実験のグローバルフォールアウト（GF）として環境中に存在しているが、堆積物や海水中にはGFとして期待される量よりも過剰のPuが存在している。これらは、1950年代にBikiniやEnewetok珊瑚礁にある太平洋核実験場（Pacific Proving Grounds：PPG）における大規模核実験の近傍フォールアウトに起因すると推定されてきたが、鄭氏は初めてその直接的な証拠を、西部北太平洋とその近傍海域で採取された30以上の堆積物コア中のPuの分析から得ている。また鄭氏はこれらの研究の過程で、特に、(i) 太平洋の沈降粒子中の高い $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比（ > 0.18 ）は中央太平洋のPPGソースからPuが北西太平洋西部へ移動したこと、(ii) 溶存態Puは外洋から縁辺海域に横方向へ移動しPuの粒子への収着を経て縁辺海域堆積物へ移行すること、などを明らかにしており、これらは環境放射化学的に重要であるばかりでなく、より一般的な海洋化学的物質循環研究の発展にも重要な貢献をしている。

3. 福島第1原子力発電所事故由来の人工放射性核種の放出源解明と環境動態解析の新トレーサの確立

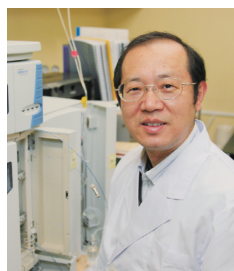
鄭氏は、2011年に起きた福島第1原子力発電所(FDNPP)の事故に関連した研究でも、ICP質量分析法を用いた人工放射性核種の分析を武器に多くの成果を挙げた。まず鄭氏は、福島事故後の環境におけるPu同位体の分布およびその同位体比を調査し、初めて福島事故により放出されたPu同位体(^{239}Pu 、 ^{240}Pu 、 ^{241}Pu)の環境中での存在を明らかにし、今回のPuの環境への総放出量が、チェルノブイリ事故で放出された量より約4桁少ないことを示した。さらに、Pu同位体による識別技術($^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比- $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比)を開発し、放出されたPuの発生源は損傷した原子炉であり、使用済み核燃料ではないことも明らかにした。

また、鄭氏は、福島原発事故を契機に ^{135}Cs に関する研究にも着手した。従来の ^{134}Cs と ^{137}Cs の分析からは、その放出源が損傷した原子炉と使用済み核燃料のいずれであるのかは特定でき

ず、 ^{137}Cs 総放出量の精密評価に問題が生じていた。そこで鄭氏は、長半減期核種である ^{135}Cs (半減期200万年)をICP-MS/MS法で分析する手法を開発し、 $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比を用いることで放射性セシウムは使用済み燃料からは放出されていないこと、および採取した試料中の放射性セシウムの殆どは2号炉由来であることを示した。この研究は、環境中に放出された放射性セシウムの放出源同定や長期間の移動評価を行うための新たな地球化学的トレーサーとして $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比が利用できることを示した点で重要である。これらの研究はまた、事故後のかなり早い時期に福島事故による環境への放出量を過大評価するという傾向を科学的に制止した点で大きな役割を果たした。

このように鄭氏は、ICP質量分析法を武器に、主に人工放射性核種にターゲットを絞り、その分析法と動態解明の研究の発展に多大な貢献をしてきた。これらは、日本放射化学会賞(学会賞)にふさわしいものと認められ、今回の受賞に至った。

学会賞受賞者による研究紹介



人工放射性核種の超高感度同位体質量分析法開発および環境動態解析に関する研究

鄭 建*

(国立研究開発法人 放射線医学総合研究所)

1. はじめに

今回は日本放射化学会・学会賞を受賞することができ、まずは改めて今まで多方面で私の研究を支えて下さった方々に深く感謝いたします。

私が中国・復旦大学の放射化学科を卒業したのは1987年の秋でした。その後、中国科学院の上海原子核研究所（今は上海応用物理研究所）に入所し、中性子放射化分析の研究で、1990年に修士学位を獲得しました。同年、上海原子核研究所に就職し、その後5年間において加速器を用いた放射性医薬品の製備に関する研究をしました。1996年、海外留学のために放射化学研究分野から離れ、オーストリアのグラーツ大学に入学し、環境化学の分野に入りました。大学ではヒ素とセレンのスペシエーション研究を遂行し、1998年に博士学位を取得しました。

最初の来日は1999年4月で、中央大学理学部・古田直紀先生の研究室において、博士研究員としてアンチモンのスペシエーションの研究をしました。2001年にはSTAフェローとして、筑波の国立環境研究所・柴田康行先生のもとで、セレンのスペシエーションと鉛同位体分析の研究に従事しました。その後、カナダのトレント大学で湖におけるヒ素循環研究分野に入りました。再び放射化学分野に戻ったのは、2003年4月、放医研に入所した時でした。私の今までの研究生生活を振り返って見た時、人工放射性核種の超高感度同位体質量分析法開発研究を進めてきた大きな要因の一つには、中央大と国環研の在籍期間中に、ICP-MS分析のノウハウを身に着けたことを挙げることができます。

人類の核エネルギー使用（例えば、核実験や原子力発電所事故、さらには使用済み燃料再処理施設等）と環境との関係を考えた時、大量の人工放射性核種放出による環境の汚染と、それによる人類の放射線被ばくの可能性を無視することはできません。そのため、様々な人工放射性核種の環境中における挙動究明は環境科学における最先端の研究テーマの一つといえます。一方、放射性CsやPu, Amのような人工放射性核種は、様々な環境移行プロセスを理解するための地球化学分野における有用なトレーサーとして広く用いられてきました。それらの重要性に着目し、私は放医研に入所以来今まで13年間、環境試料中の人工放射性核種同位体分析のための高精度質量分析法開発と環境動態解析に関する研究等に取り組んできました。ここでは、私が行ってきた研究について、分析法の開発からその応用まで、3つのテーマに分けて紹介します。各論の詳細については、参考文献を参照していただければ幸いです。

2. 先端同位体質量分析法の開発

人工放射性核種を定量するために広く使用されてきた従来の放射能測定法は、長半減期核種に対しては感度が悪く、精度の良い同位体比の情報を得るには不十分でした。しかし、現在の環境中における長半減期核種の分布と挙動の究明、さらには放出源の同定のためには、非常に高精度な放射性核種の同位体比分析が必要不可欠です。そのため、私は近年、植物、土壌、堆積物や海水等の様々な環境試料中のU, Th, Tc, Am, Pu, Cs同位体の高精度質量分析法開発研究に取り組んできました¹⁻¹³。ここでは、²³⁹Pu, ²⁴⁰Pu, ²⁴¹Pu, ¹³⁵Cs, および¹³⁷Csの測定とその同位体比分析に重点を絞って、概説します。

2.1. プルトニウム同位体分析

環境中に存在する主なプルトニウム同位体を表1に示します。原子炉でのウラン燃料の使用において、ウランおよび生成核種と中性子との核反応により種々のPu同位体が生成され、また、そのためPu同位体比は、原子炉で核燃料が使用され

* jzheng@nirs.go.jp

る期間によって異なります。したがって、グローバルフォールアウト（全大気圏内核実験の混合による平均）、ビキニ環礁における大規模核実験の近傍フォールアウト、さらに、チェルノブイリ事故により放出されたPuは、それぞれPu同位体比が異なることが知られています。つまり環境試料中のPu同位体比が分かれば、放出源を同定することができる訳です。しかし、一般にPu定量に使われている放射能測定法では、 ^{239}Pu と ^{240}Pu の放出する α 線エネルギーが近接しているため、Pu同位体比情報を得ることができません。そこで同位体比情報を得るために、近年では質量分析法が良く用いられるようになってきました¹⁴。中でもICP-MSは、長半減期放射性核種を、放射能測定法よりも短時間かつ高精度に定量・同位体比分析することが可能です。ICP-MSにもいくつか種類がありますが、中でも高分解能ICP-MS (SF-ICP-MS) がPu測定に使われています。近年の改良では、インターフェイス部分のイオン通過率を上げる等が行われ、10年前の機種よりも1桁以上の高感度化が実現しました。ただ、高感度化は単純に正確なPu同位体比測定には繋がらず、未だ問題点も多いのが現状です。そこで著者らは3つの改良（(1) 前処理の見直し、(2) 化学分離法の最適化、(3) 試料導入装置による高感度化）を行い、アトグラム (ag) のPu測定をできるようにしました。

(1) 前処理の見直し

土壌や植物試料などのPuの化学分離では、有機物が回収率低下の原因となるため、灰化処理を

行うのが一般的です。その後硝酸抽出法でPuを灰化試料から抽出し、化学分離操作でPuを単離し、ICP-MSで定量しますが、最初の段階である灰化温度の定量結果への影響は十分に検討されていませんでした。土壌灰化処理については、これまでの文献に報告された灰化温度は400-900°Cの広い範囲が適用されています。筆者らは、土壌標準試料 (IAEA) を用いて、375-600°Cで灰化処理した後、同じ分析方法でPuを定量しました¹³。その結果、灰化温度が450°Cを超えない場合、 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度は常に報告値の範囲と一致しましたが、それ以上では温度の上昇と共に $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度が減少し、600°Cでは約40%のPuが硝酸抽出できませんでした。恐らく、高温ではケイ酸塩由来の物質等（例えば斜長石）がPuを取り込んだ形で生成してしまい、硝酸では十分Puを溶出できなくなったことが原因ではないかと推測されました。実際、高温処理後の試料については、フッ酸を使ってケイ酸塩を溶かすと、Puの定量結果は既存の報告値の範囲内になりました。つまり、この実験の結果は、正確な測定のためには灰化温度に注意し、硝酸抽出だけの場合には450°C以下で灰化しなければならないことを明らかにしました。

(2) 化学分離法の最適化

ICP-MSによるPuの測定で特に問題になるのはUの水素化物です。例えば $^{239}\text{Pu}^+$ に対し $^{238}\text{U}^1\text{H}^+$ が、 $^{240}\text{Pu}^+$ に対し $^{238}\text{U}^1\text{H}_2^+$ が妨害になり、目的同位体と妨害イオンの質量数が極めて近い場合、SF-ICP-MSの分解能を上げてこれらを分離

Table 1 Major Pu isotopes in the environment

核種	半減期	壊変形式	主な生成反応
^{238}Pu	87.7 年	α , 自発核分裂	$^{235}\text{U}(\text{n}, \gamma) \xrightarrow{\beta^-} ^{236}\text{U}(\text{n}, \gamma) \xrightarrow{\beta^-} ^{237}\text{U} \rightarrow ^{237}\text{Np}(\text{n}, \gamma) \xrightarrow{\beta^-} ^{238}\text{Np} \rightarrow ^{238}\text{Pu}$
^{239}Pu	24,110 年	α	$^{238}\text{U}(\text{n}, \gamma) \xrightarrow{\beta^-} ^{239}\text{U} \xrightarrow{\beta^-} ^{239}\text{Np} \rightarrow ^{239}\text{Pu}$
^{240}Pu	6,564 年	α , 自発核分裂	$^{239}\text{Pu}(\text{n}, \gamma) \rightarrow ^{240}\text{Pu}$
^{241}Pu	14.4 年	α, β^-	$^{240}\text{Pu}(\text{n}, \gamma) \rightarrow ^{241}\text{Pu}$

することができません。また、測定対象としている物質中の Pu の濃度が極めて低いことから、できるだけ感度の良い低分解能モードでの測定を選択することになります。その場合、上述の妨害イオンに加え ^{238}U のピークのテーリングが ^{239}Pu のカウント数に影響してしまいます。固形の環境試料（土壌、堆積物など）中の U 濃度は、Pu よりも $10^6 \sim 10^9$ と桁違いに高く、また海水では、U/Pu 濃度比は 10^{10} に達します。これらの環境試料中の超微量 Pu 同位体を正確に測定するためには、ウランを低減しなければなりません。既存の陰イオン交換樹脂や抽出クロマトグラフィー樹脂によるカラム分離法では、 $1.8 \times 10^3 - 2 \times 10^5$ の高い U 除去係数が得られていますが、一方で、U 除去係数が 10^5 より低いと、土壌や堆積物中の Pu を正確に測定できないとの報告もあります¹⁵。そこで著者らは、AG 1X8 と AG MP-1M の2つの陰イオン交換樹脂カラムを用いる方法を開発しました¹⁰。1段目の AG 1X8 では、同じく Pu 測定の妨害になる鉛、水銀などが十分取り除けることが分かりました。しかし、1段だけでは少量のウランが Pu の分離フラクションに残ってしまうことから、さらに2段目に AG MP-1M を用いることを検討したところ、非常に高い U 除去係数 $2 \times 10^6 - 1 \times 10^8$ を得ることができました。Fig. 1 に示したように、海水（20 L）また、堆積物（30 g）（注：通常は 1-2 g で ^{239}Pu と ^{240}Pu の測定には十

分であるが、 ^{241}Pu 測定のために試料量を増やして用いた）に含まれる U をほぼ完全に分離する方法を確立することができました。本法を用いた海水、土壌及び堆積物試料の分析では、測定試料中の ^{239}Pu 自身のネットカウント 100～数千に対し、妨害イオンである $^{238}\text{U}^+$ は約 1-2 cps しかなく、妨害を抑えることに成功しました。

(3) 試料導入装置による高感度化

SF-ICP-MS は一般には検出器が1つなので、複数の同位体を同時計測することができません。高精度な同位体比計測には、装置が高速スキャンできることに加え、均質な試料を安定して装置に導入する必要があります。そのためには化学分離後の試料形態としては液体が適切ですが、一方で溶媒に起因する妨害イオンを減らし、できるだけ多くの溶質をイオン化するのが課題となります。そこで、高効率導入装置2機種（Aridus II と APEX）を SF-ICP-MS に連結し、ウラン水素化物（ $^{238}\text{U}^+$ ）の発生低減、感度の増加等について調査しました^{5,16}。どちらの機種も $^{238}\text{U}^+$ の生成率は 2.2×10^{-5} 以下を達成することがわかりました。さらに、Aridus II では SF-ICP-MS を通常の導入方法で測定したときに比べて約 30 倍の感度を得られるような条件を見つけ出しました。これは AMS と匹敵する測定能力であり、極めて高感度な分析方法と言えます。このときの検出下限値は 43 ag/mL、また Pu 分析に必要な試料溶体量

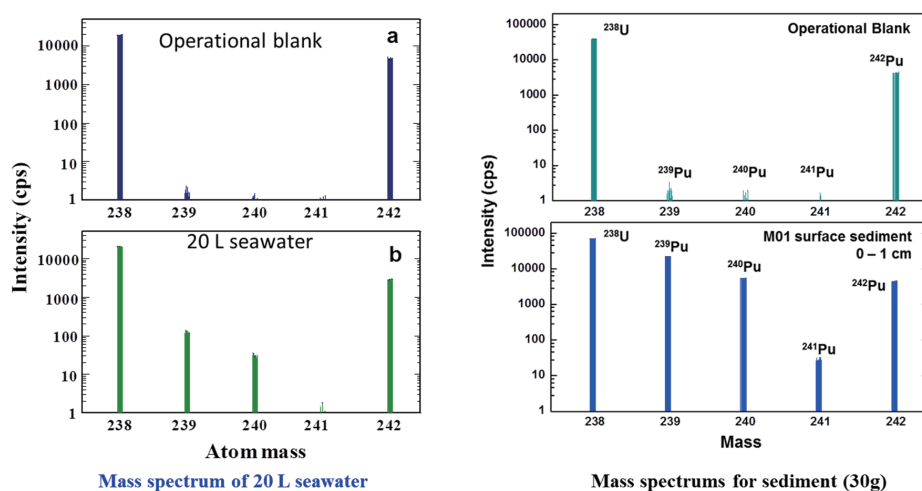


Fig. 1 Mass spectra of 20 L seawater sample and operational blank (a) and 30 g marine sediment sample and operational blank (b) after a two-stage ion exchange chromatographic separation.

は 0.125 mL だったので、実質の検出感度は 1 回の測定において 5 ag/sample を達成しました。この分析法を用いて、フェムトグラムレベルの海洋沈降粒子中の $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比を分析することに世界で初めて成功しました⁵。固形試料だけでなく、海水試料についても、これまでは約 200 L の海水が必要でしたが、これを応用することで、約 1/10 の試料量で $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比を測定する確度の高い方法を開発することにも繋がりました¹¹。開発した ICP-MS 法は非常に高感度なので、短半減期である ^{241}Pu (14.4 年) の環境試料中の測定にも成功しました^{17,18}。

2.2. セシウム同位体分析

2011 年の福島第一原子力発電所 (FDNPP) 事故以降、 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ の放射能比は放出源識別のためにトレーサーとして広く使われていますが、 ^{134}Cs ($t_{2/1} = 2.06$ y) は近い将来測定が困難になり、利用できなくなるのは明白です。そこで著者らは、環境中の放射性 Cs の長期動態解析研究のために、長半減期核種 ^{135}Cs ($t_{2/1} = 2 \times 10^6$ y) と $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 同位体比に着目し、その Cs 同位体比測定法の開発を行い、環境試料中の $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 同位体比の測定法を確立しました¹²。 ^{135}Cs は長半減期かつ純 β 線放出核種のため、放射能分析法では定量が極めて困難です。著者らは Fig. 2 に示すような、トリプル四重極型 ICP-MS (ICP-MS/MS) を用いて、質量分析法を開発しました。

ICP-MS を用いて $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 同位体比を分析する際に問題となるのは、試料に含まれる ^{135}Ba

と ^{137}Ba の同重体イオン干渉、多原子イオン干渉 ($^{95}\text{Mo}^{40}\text{Ar}^+$ 、 $^{97}\text{Mo}^{40}\text{Ar}^+$ 、 $^{119}\text{Sn}^{16}\text{O}^+$ 、および $^{121}\text{Sb}^{16}\text{O}^+$)、目的同位体に対し多量に存在する安定同位体 ^{133}Cs (mg/kg レベル) のピークのテーリング影響が挙げられます。試料に由来するこれらの Ba, Mo, Sn, および Sb を分離するため、リンモリブデン酸アンモニウム (AMP) による Cs 選択吸着後、AG MP-1M と AG50WX8 の 2 つの陰/陽イオン交換樹脂カラムを用いる化学分離方法を開発しました¹²。この方法を用いることにより、Ba, Mo, Sb, および Sn などの干渉元素について高い除染係数 (10^4 – 10^5) を得ることができました。また、今回使った ICP-MS/MS を使って、リアクションガスとして N_2O を用いることで同重体の干渉 ($^{135}\text{Ba}^+$ と $^{137}\text{Ba}^+$) と多原子イオン干渉を低減化させることができるようになりました。さらに、MS/MS により 2 回マスフィルタを用いることで、高いアバンダンス感度を達成し、それにより ^{133}Cs のピークのテーリング影響妨害を抑えることができました。以上を組み合わせることにより ^{135}Cs と ^{137}Cs に対して、非常に低い検出限界値 (それぞれ 0.01 pg/mL および 0.006 pg/mL) が得られ、信頼性の高い ^{135}Cs と ^{137}Cs 同位体分析ができるようになりました。

3. Pu 同位体比による Pu の海洋輸送プロセスの解明および地球化学的トレーサーとしての利用

環境中の Pu は主として大気圏内核実験のグローバルフォールアウトに由来しています。しか

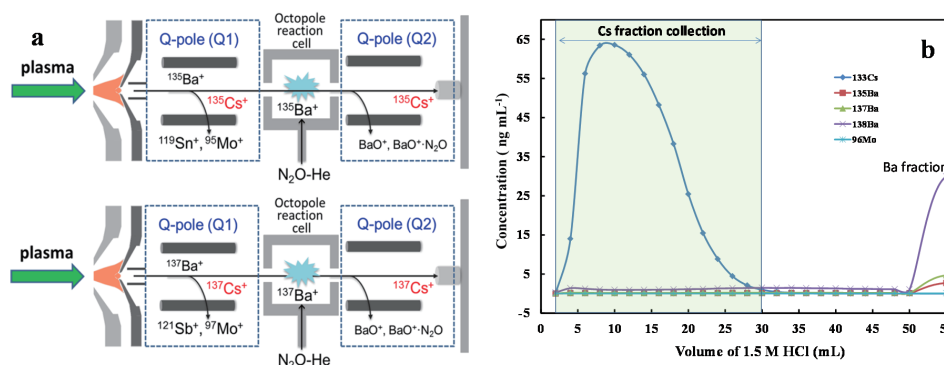


Fig. 2 Schematic of ICP-MS/MS and ion-molecule reactions for ^{135}Cs and ^{137}Cs measurements (a) and chemical separation of Cs and major interfering Ba in environmental samples.

し興味深いことに 1970–1990 年代の西部北太平洋とその近傍海域における堆積物や海水中には、グローバルフォールアウトとして期待される量よりも過剰の Pu が観察されていました。このような過剰のインベントリーの主要な放出源は 1950 年代のビキニやエニウエトク珊瑚礁にある太平洋核実験場 (Pacific Proving Grounds : PPG) における大規模核実験の近傍フォールアウトに起因すると推定されていたのですが、直接的な証拠は報告されていませんでした。そこで著者らは、西部北太平洋とその近傍海域、すなわち、東シナ海、沖縄トラフ、日本海、スーラー海、南シナ海、オホーツク海、において採取された 30 以上の堆積物コア中の Pu 同位体および同位体比 (^{239}Pu , ^{240}Pu および $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比) の分布を調査しました¹⁹⁻²⁷。その結果、グローバルフォールアウト由来と PPG 近傍フォールアウト由来の Pu の同位体比の違いを用いて、上述した調査地域において PPG 由来フォールアウト Pu が広く存在していることを明らかにすることができました (Fig. 3)。なお著者らが調査した地域において PPG 近傍フォールアウト Pu が 10 % から 60 % の範囲に含まれていると推定されました。

平面的な分布に加え、海底堆積物コアを用いて鉛直上方の情報を調べることで、その中に記録されている歴史を知ることができます。そこで、相模湾海底から採取した堆積物コア試料分析を行ったところ、1950 年代に堆積した部分にグローバルフォールアウトよりも高い $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比が観測されたことから、ビキニ核実験による Pu 堆積を確認しました (Fig. 4)。

このように PPG 近傍フォールアウト由来の Pu が北太平洋に広く分布する理由を明らかにするために、海流移動に関しても検討を行いました。その中で、太平洋の最も大きな Pu 源であるビキニ環礁から西方向への北赤道海流による還流移動、それに続く黒潮海流による北方向への移動が、北太平洋に広く分布する理由であるという仮説を提案し¹⁹、それを立証するために、相模湾における海水 (表層および深度分布) と北西太平洋西部の沈降粒子を採取し、Pu 濃度および Pu 同位体比を調査しました^{21,26}。このようなデータの報告はこれまでにありませんでした。沈降粒子中では高い $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 原子数比 (> 0.18) が見られましたが、これにより中央太平洋の PPG 近傍フォールアウトの Pu が北西太平洋西部へ移動したことを

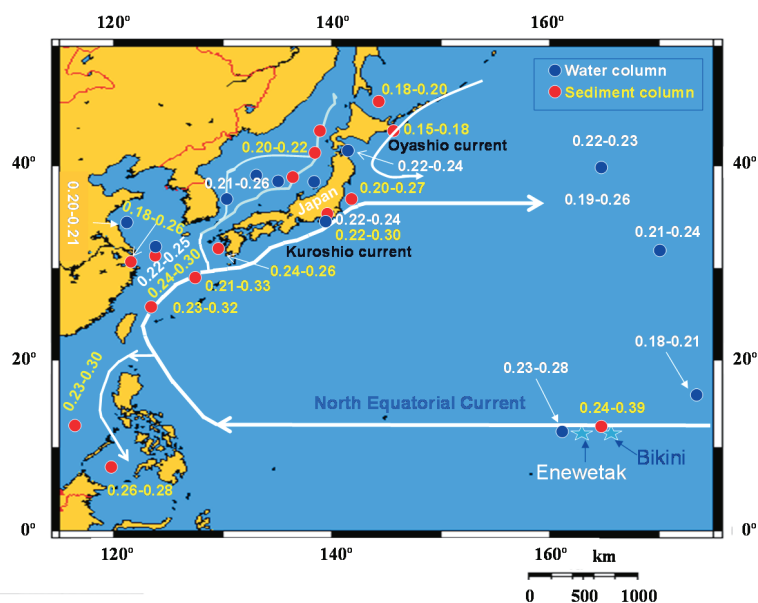


Fig. 3 Distributions of $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratio in sediment and water columns in the western North Pacific before the Fukushima accident. The values shown in the graph are the range of $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratios observed in the water column and sediment columns. This graph is adapted from ref. 27, and more refs. cited therein.

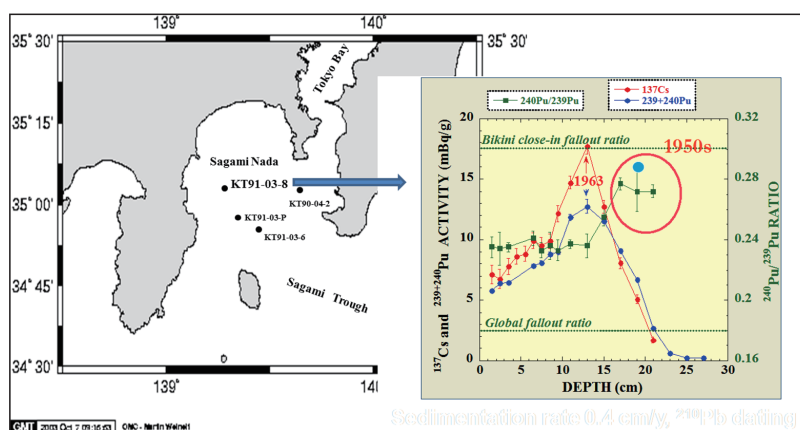


Fig.4 Vertical profiles of $^{239+240}\text{Pu}$ activities and $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ atom ratios in a sediment core collected from Sagami Bay, Japan.

示すことができました。沈降粒子に取り込まれたPuは沈降粒子フラックスに強く依存している一方、溶存態Puは外洋から縁辺海域への横方向へ移動した後、粒子への吸着による縁辺海域堆積物へ移行するという二つの現象は、太平洋でよく見られる現象と捉えることができます。特に後者の現象は、地球化学的な循環、すなわち、大気から直接供給される他の汚染物質の移送と分散においても重要な要素であると言えます。この一連の研究により、高い生物生産力を持つ太平洋縁辺域において、Puや粒子吸着能の高い汚染物質は、懸濁粒子・沈降粒子によるスクヤベンジングによる海水からの除去と堆積物への移行により、蓄積していることが明らかとなりました。この研究は、福島第一原子力発電所事故由来の人工放射性核種による海洋環境汚染の評価におけるバックグラウンドデータとしても重要です。

4. 福島原発事故由来の人工放射性核種の放出源解明と環境動態解析に新トレーサーの確立

2011年に発生した福島第一原子力発電所の事故（以下、福島事故と呼ぶ）により、大量の放射性核種を環境中に放出されました。チェルノブイリ事故と比較すると、福島事故では複数の原子炉と使用済み燃料が放出源であったと考えられることから、状況はより複雑になっています。放出された放射性核種の内、長半減期核種に関しては、環境中に長い期間滞在することになります。したがって、この原発事故により放出された放射性核

種による環境汚染研究における重要な課題として、放射性核種の汚染源がどれであったのか確定することと長期にわたる環境挙動を予測することが挙げられます。

(1) 福島事故からのプルトニウム

著者らは、前述のように開発した分析法を用いて、福島事故後の環境におけるPu同位体の分布およびその同位体比を調査し、福島事故で放出されたPu同位体（ ^{239}Pu 、 ^{240}Pu および ^{241}Pu ）を世界で初めて明らかにしました^{17,18,28}。この分析結果から環境へのPu総放出量は、チェルノブイリ事故で放出された量よりも約4桁少ないことを明らかにしました。また、Pu同位体による識別（ $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比 vs $^{241}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比）により、放出されたPuの発生源は損傷した原子炉であり、使用済み核燃料ではないことも明らかにしました。このような分析を進める中、福島事故によって放出されたPuの影響を精度良く評価するために、事故以前の福島第一原子力発電所周辺の土壌のPu濃度レベルと $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 同位体比情報が重要であるにも関わらず、データがないことに気づきました。そこで、放医研が日本各地で主に1970年代に採取し、アーカイブとして保存している全国表層土壌試料に着目し、福島県を中心とした試料を選択的に分析して、事故以前のPu濃度や、 $^{239}\text{Pu}/^{240}\text{Pu}$ 同位体比を測定しました²⁹。その結果、もともと原発周辺土壌に含まれていたPuはグローバルフォールアウト起源であることを証明するとともに、 $^{239+240}\text{Pu}$ 濃度レベルとして0.004–1.46

Bq/kgであったことを示しました。

また、海洋環境におけるPu汚染も評価しました。福島第一原発から5 km – 200 km 圏内の海水や堆積物の分析を行ったところ、得られたデータから、現在の状況は事故以前と同様のPu濃度レベルと同位体比であり、顕著な違いが見られないことがわかりました^{11, 18, 27, 30-33}。すなわち、福島事故により海洋環境へ放出されたPuがあったとしても、これまでの値に変化を与えるほどの量ではなく、極めて少ないといえました (Fig. 5)。

(2) 福島事故からの放射性セシウム

2011年の事故以降、放出された放射性核種の内、比較的長半減期であり、外部被ばく線量に最も寄与している¹³⁴Csと¹³⁷Csの環境中の分布に関する研究が主に行われています。しかし、その放出源については、Puと同様に損傷した原子炉なのか、それとも使用済み核燃料なのかは、特定されなかったため、¹³⁷Csの放出量評価において大きな違いが生じていました^{34,35}。著者らは、福島県の森林から採取した高濃度汚染環境試料（落葉、こけ、土壌）を用いて、長半減期核種である¹³⁵Csおよび¹³⁵Cs/¹³⁷Cs同位体比の分析を著者らが開発した方法で行うことで、放出源を明らかにしようとした。上述した通り、¹³⁵Cs/¹³⁷Cs同位体比は、原子炉の運転と停止条件によって異なることから、この比を用いることで放出源推定できると考えられます。¹³⁵Csおよび¹³⁵Cs/¹³⁷Cs同

位体比の分析結果から、原発から北西方向の高濃度汚染地域に沈着している放射性セシウムのほとんどは2号炉からの放出であることを示しました (Fig. 6)^{36,37}。Tsumuneら³⁸の研究成果から、福島事故により大気経路で放出された放射性Csの約80%が西部北太平洋に沈着し、それに加え高濃度汚染水の漏えいによって3.6 PBqの¹³⁷Csが海洋に直接排出されたと推定されています。これと同様に¹³⁵Csについても考えることができるのなら、福島事故に由来する¹³⁵Cs放出量について、約 6.74×10^{-5} PBq (1.58 kg) が大気経路で放出され、海洋放出も含め約 7.01×10^{-5} PBq (1.64 kg) が海洋に沈着したことを推定しました³⁶。

福島事故により放出された¹³⁷Csの物理学的半減期は30.2 yであり、事故から5年経過する現在において、放射線量評価上、最も重要な放射性核種であると言えます。この核種の環境生態系や人への放射線影響評価は非常に重要な研究課題ですが、例えば、森林生態系の内部循環、森林から河川水系へ移動と海洋沿岸域の輸送・運搬、また、海洋表層の移動・拡散などについて、¹³⁷Csが間違いなく福島事故由来と識別できるトレーサーの確立が要求されます。すでに福島原発事故由来の¹³⁵Cs/¹³⁷Cs同位体比 (0.34–0.39)³⁶は、グローバルフォールアウト起源の¹³⁵Cs/¹³⁷Cs同位体比 (2.7) やチェルノブイリ原発事故起源の¹³⁵Cs/¹³⁷Cs同位体比 (0.5) とは有意な違いが

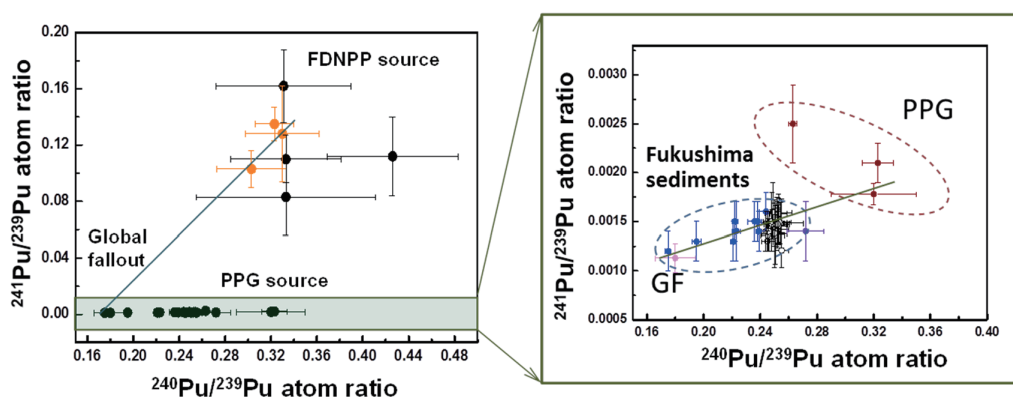


Fig. 5 Mixing plot of ²⁴¹Pu/²³⁹Pu atom ratio vs. ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu atom ratio in the Fukushima sediments, comparison with the Pu compositions of global fallout, Fukushima accident release, and the PPG close-in fallout. The closed orange circles (soil and litter samples, cited from ref. 17) and closed black circles (aerosol samples, cited from ref. 30) represent the FDNPP source.

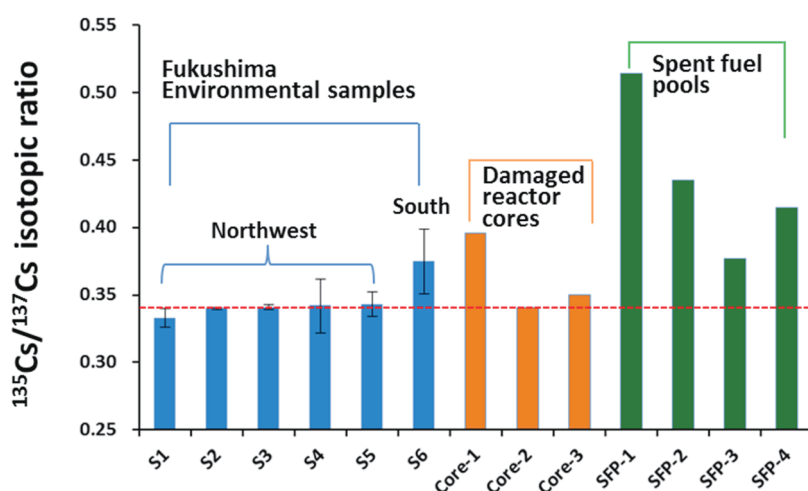


Fig. 6 Comparison of $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ isotopic ratios observed in litter and lichen samples and those in nuclear fuels in the damaged reactors (core-1, core-2 and core-3) and in the spent fuel pools (SFPs).

みられています。そこで著者らは長半減期核種である ^{135}Cs に着目し、環境中に放出された放射性セシウムの放出源同定や長期間の環境動態研究のための新しい地球化学的トレーサーとして $^{135}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 同位体比を提案し、さらにそれを実際に適用しました³⁶。

5. おわりに

人工放射性核種の環境動態解析に関する研究において、放射能測定だけではなく、放射性核種の同位体組成測定は極めて重要な情報といえます。上述したような著者らの研究は、いずれも超高感度同位体組成の質量分析技術の利用なくしてはできなかったものです。このような正確かつ精度の高い分析法の開発とそれを用いた環境試料分析が行えたことで、福島事故による放射性核種放出量の過大評価傾向に事故後のかなり早い時期に待ったをかけたという点において重要な役割を果たしたといえるでしょう。しかし、事故から5年経った今も、未測定・放出状況未解明の核種がまだあるのが現状です。放射性核種の超高感度同位体質量分析技術がさらに進むことが人工放射性核種の環境動態解析、さらには福島原発事故により放出された放射性核種の中長期環境動態研究を大きく発展させる鍵だと著者は信じています。

6. 謝辞

本研究を遂行する上でご指導いただいた諸先生方、多くの共同研究者の皆様、そして学生諸君に深く謝意を申し上げます。(敬称略) 内田滋夫、日下部正志、吉田 聡、山田正俊、田上恵子、青野辰雄、石井伸昌、久保田善久、渡辺嘉人、府馬正一、武田志乃、高田兵衛、大久保綾子、中西貴宏、福田美保、楊国勝、王鍾堂(以上、放医研(現所属違う場合あり))。廣瀬勝己、五十嵐康人(以上、気象研)、D. Evans, H. Hintelmann (Trent Univ.), M. Ketterer (MSU Denver), M. Krachler (JRC-ITU), 乙坂嘉重 (JAEA)、張 勁 (富山大)、本多牧生 (JAMSTEC)、石丸 隆、神田穰太(以上、海洋大)、田副博文 (弘前大)、朱彦北、尉海軍(以上、産総研)、鹿籠康行、中野かずみ(以上、アジレント)。呉豊昌 (中環院)、郭秋菊 (北京大)、潘少明 (南京大)、戴民漢 (厦門大)、李燕、談明光 (SINAP)。学生: Haiqing Liao, Jianming Chen, Yongshan Zhang, Li Zen, Zhiyong Liu, Wei Dong, Wenting Bu, Junwen Wu, Liguao Cao。

参考文献

1. J. Zheng and M. Yamada, *Talanta* **68**, 932-939 (2006).
2. M. Yamada and J. Zheng, *Continental Shelf Res.* **27**, 1629-1642 (2007).

3. J. Zheng and M. Yamada, *J. Oceanogr.* **64**, 541-550 (2008).
4. T. Nakanishi, J. Zheng, T. Aono, M. Yamada and M. Kusakabe, *J. Environ. Radioact.* **102**, 774-779 (2011).
5. J. Zheng and M. Yamada, *Talanta*, **69**, 1246-1253 (2006).
6. J. Zheng, M. Yamada, *Anal. Sci.* **23**, 611-615 (2007).
7. H. Q. Liao, J. Zheng, F. C. Wu, M. Yamada, M. G. Tan and J. M. Chen, *Appl. Radiat. Isot.* **66**, 1138-1145 (2008).
8. Y. S. Zhang, J. Zheng, M. Yamada, F. C. Wu, Y. Igarashi, and K. Hirose, *Sci. Total Environ.* **408**, 1139-1144 (2010).
9. J. Zheng, M. Yamada, *Appl. Radiat. Isot.* **70**, 1944-1948 (2012).
10. W. Bu, J. Zheng, Q. J. Guo, T. Aono, H. Tazoe, K. Tagami, S. Uchida, M. Yamada, *Environ. Sci. Technol.* **48**, 534-541 (2014).
11. W. Bu, J. Zheng, Q. J. Guo, T. Aono, K. Tagami, S. Uchida, H. Tazoe, M. Yamada, *J. Chromatogr. A*, **1337**, 171-178 (2014).
12. J. Zheng, W. T. Bu, K. Tagami, Y. Shikamori, K. Nakano, S. Uchida, N. Ishii, *Anal. Chem.*, **86**, 7103-7110 (2014).
13. Z. T. Wang, G. S. Yang, J. Zheng, L. G. Cao, H. J. Yu, Y. B. Zhu, K. Tagami, S. Uchida, *Anal. Chem.* **87**, 5511-5515 (2015).
14. J. Zheng, K. Tagami, S. Takeda, W. T. Bu, *J. Anal. At. Spectrom.* **28**, 1676-1699 (2013).
15. U. Nygren, I. Rodushkin, C. Nilsson, D. C. Baxter, *J. Anal. At. Spectrom.* **18**, 1426 (2003).
16. J. Zheng, *J. Nucl. Radiochem. Sci.* **15**(1) 7-13 (2015).
17. J. Zheng, K. Tagami, Y. Watanabe, S. Uchida, T. Aono, N. Ishii, S. Yoshida, Y. Kubota, S. Fuma, S. Ihara, *Sci. Rep.* **2**, 304 (2012).
18. W. T. Bu, M. Fukuda, J. Zheng, T. Aono, T. Ishimaru, J. Kanda, G. S. Yang, K. Tagami, S. Uchida, Q. J. Guo and M. Yamada, *Environ. Sci. Technol.* **48**, 9070-9078 (2014).
19. J. Zheng and M. Yamada, *Environ. Sci. Technol.* **38**, 3498-3504 (2004).
20. J. Zheng and M. Yamada, *Sci. Total Environ.* **340**, 199-211 (2005).
21. J. Zheng and M. Yamada, *Environ. Sci. Technol.* **40**, 4103-4108 (2006).
22. W. Dong, J. Zheng, Q. J. Guo, M. Yamada and S. M. Pan, *J. Environ. Radioact.* **101**, 622-629 (2010).
23. Z. Y. Liu, J. Zheng, S. M. Pan, W. Dong, M. Yamada, T. Aono, Q. J. Guo, *Environ. Sci. Technol.* **45**, 1805-1811 (2011).
24. J. W. Wu, J. Zheng, M. H. Dai, C. A. Huh, W. F. Chen, K. Tagami, S. Uchida, *Environ. Sci. Technol.* **48**, 3136-3144 (2014).
25. J. Zheng and M. Yamada, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **267**, 73-83 (2006).
26. M. Yamada, J. Zheng and Z. L. Wang, *J. Environ. Radioact.* **98**, 274-284 (2007).
27. J. Zheng, T. Aono, S. Uchida, J. Zhang, M. C. Honda, *Geochem. J.* **46**, 361-369 (2012).
28. J. Zheng, K. Tagami, S. Uchida, *Environ. Sci. Technol.* **47**, 9584-9595 (2013).
29. G. Yang, J. Zheng, K. Tagami, S. Uchida, *Sci. Rep.* **5**, 9636 (2015).
30. T. Shinonaga, P. Steier, M. Lagos, T. Ohkura, *Environ. Sci. Technol.* **48**, 3808-3814 (2014).
31. W. Bu, J. Zheng, T. Aono, K. Tagami, S. Uchida, J. Zhang, M. C. Honda, M. Yamada, *Biogeosciences*, **10**, 2497-2511 (2013).
32. W. Bu, J. Zheng, T. Aono, J. W. Wu, K. Tagami, S. Shigeo, Q. Guo, M. Yamada, *J. Nucl. Radiochem. Sci.* **15**(1) 1-6 (2015).
33. W. Bu, J. Zheng, Q. J. Guo, T. Aono, S. Otosaka, K. Tagami, S. Uchida, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **303**, 1151-1154 (2015).
34. A. Stohl, P. Seibert, G. Wotawa, D. Arnold, J. F. Burkhart, S. Eckhardt, C. Tapia, A. Vargas, T. J. Yasunari, *Atmos. Chem. Phys.* **12**, 2313-2343 (2012).
35. M. Chino, H. Nakayama, H. Nagai, H. Terada, G. Katata, H. Yamazawa, *J. Nucl. Sci. Technol.* **48**, 1129-1134 (2012).
36. J. Zheng, K. Tagami, W. T. Bu, S. Uchida, Y.

- Watanabe, Y. Kubota, S. Fuma and S. Ihara, Environ. Sci. Technol. **48**, 5433-5438 (2014).
37. K. Nishihara, H. Iwamoto, K. Suyama, JAEA-Data/Code 2012, No. 2012-018 (2012).
38. D.Tsumune, T.Tsubono, M. Aoyama, K. Hirose, J. Environ. Radioact. **111**, 100-108 (2012).

特集 (2015 日本放射化学会年会 若手優秀発表賞受賞者による研究紹介)

福島第一原発事故で放出した放射性粒子の生成プロセス

佐藤志彦 (筑波大学大学院数理物質科学研究科化学専攻)



2011年3月に発生した東京電力福島第一原子力発電所事故では、事故初期の放射性物質の放出において、Csを高濃度に濃縮した放射性粒子が放出したことが判明している(1)。またその後の調査で、最初に報告された茨城県つくば市に加え、福島第一原発周辺でも複数の放射性粒子が見つかった(2-4)。放射性粒子はこれまでも原発や核施設の事故、および核実験で観測されてきた(5)。しかし福島第一原発事故では炉心の水蒸気爆発や火災は発生していない。さらに粒子に含まれる放射性核種は基本的に $^{134,137}\text{Cs}$ で、他の放射性粒子については、発見されてもごく僅かであった(4)。そのため福島事故における放射性粒子の存在は、原発から直接放出されたものであるか、そもそも大きな疑念を有していた。本研究では福島事故で放出した放射性粒子について、原発周辺から分離した粒子の分析結果を元に、生成のプロセスを検討したので報告する。

放出した原子炉にかかわらず、粒子の主成分は

約80wt%がケイ素と酸素で構成されている。しかしながらケイ素は炉心では使用されておらず、最も身近なソースはペDESTALに使用されているコンクリートである。しかし研究を進める過程で、表面に繊維状のケイ酸化合物およびカルシウムを豊富に含むケイ酸の粒子が見つかった(Fig. 1)。また鉄と亜鉛の合金状の物が付着した粒子も同時に見つかった。原子炉内部で繊維状のケイ酸化合物が使用されているとすると、真っ先に考えられるのが保温材である。保温材は原子炉压力容器(RPV)をはじめ、主蒸気管やポンプ等の設備機器を熱から防護する、あるいは熱を逃さないために取り付けられており、とりわけ福島第一1号機、2号機ではケイ酸カルシウム保温材が格納容器(PCV)内で大量に使用されていたことも判明している(6)。さらに代表的なケイ酸系保温材であるロックウール(Mineral wool)と、放射性粒子の元素組成がほぼ一致した(Fig. 2)。

Csは揮発性元素であり、燃料被覆管表面が損傷することで容易に放出する。RPVに充満したCsはなんらかの方法でPCVにリークし、そこで保温材と接触したと考えられる。保温材への吸着

はCsと保温材の特有な作用によるものと推定される。帰還困難区域の建屋内で採取したロックウール保温材の表面に均一にCsが吸着する状態が確認された(Fig. 3)。詳細はまだ明らかになっていないが、ケイ酸建材に対しCsは極めて大きな親和性があるものと考えられる。

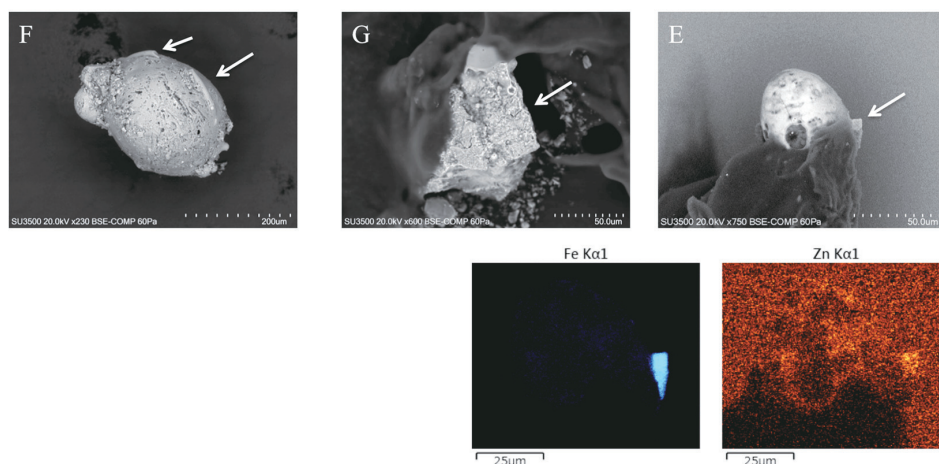


Fig. 1 Particles with information about source of silicate

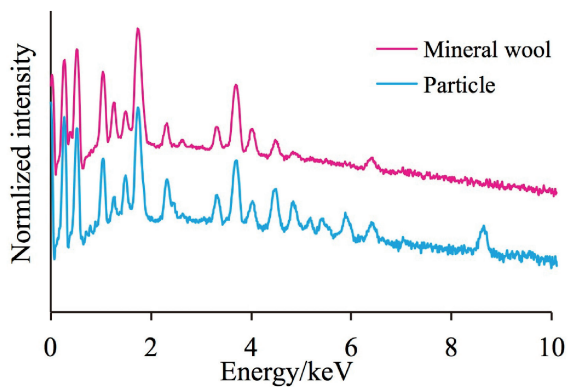


Fig. 2 Characteristics X-ray spectrum of mineral wool and particle

溶融プロセスは格納容器からの輻射熱および熱水蒸気による保温材の直接攻撃などが考えられる。ロックウールは600℃、ケイ酸カルシウムでも1000℃程度で形状変化が生じ始めることから、当時の炉内状況からこれらの原料が溶融できる温度には余裕で達していたものと推定される。またケイ素のソースをペDESTALコンクリートだと、2200℃以上の温度が必要で、かつメルトスルーが生じた後でなければ粒子は生成しない。さらに溶融燃料とコンクリートが発生した場合、Cs以外の放射性核種も当然粒子から検出されることが予想されるが、他の核種はほとんど検出されていない。このことからコンクリートより融点が高いケイ酸化合物との反応が予想される。

液化したケイ酸化合物は冷却されて粒子化するが(5)、福島事故では何度もPCVの急激な圧力低下が観測されている。圧力の急激な減少は断熱膨張による冷却を引き起こすことから、放出時の圧力の減少に伴って粒子化したと考えられる。

本発表の後の調査で、3号機由来の放射性粒子

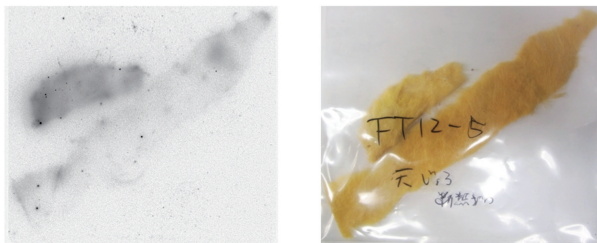


Fig. 3 Autoradiography of mineral wool sample (Satou et al., 2015b)

は未だ北西地域からは発見されていない。その原因について3号機の汚染はサプレッションチャンバー(S/C)を経由したウェットベントであり、この場合、汚染蒸気はケイ酸建材の存在するドライウエル(D/W)を通過しない。そのためプレュームに粒子が混入する機会がなかったと推定される。そしてこの観測結果は粒子生成過程の仮説とも一致する。

本研究ではこれまでに得られた情報を元に、放射性粒子の生成プロセスについて検討を行った。結果、粒子はD/W内で使用されていたケイ酸系保温材にCsが選択的に吸着し、その後溶融を経て、PCVから放出する段階で凝固して生成した可能性が示された。しかしながら本研究で検討した生成プロセスはまだ仮説の域を脱していない。今後は裏付けのための再現実験を展開していく予定である。

謝辞

本研究は、気象庁気象研究所、東京理科大学、東京慈恵会医科大学、ならびに日本原子力研究開発機構との共同研究による成果を含みます。関係者並びに各機関に対し深く御礼申し上げます。また筆者は本稿に対するさまざまな視点からのコメントを受け付けています(E-mail: yukihiko@ied.tsukuba.ac.jp)。

引用文献

- (1) K. Adachi, et al., Scientific Reports 3, 2554 (2013).
- (2) Y. Saito, et al., Anthropocene, Under revise.
- (3) Y. Satou et al., AESJ spring meetings (2015a).
- (4) Y. Satou et al., 14th JRSM annual meeting (2015b).
- (5) B. Salbu, Integrated Environmental Assessment and Management, 7, 362-364 (2011).
- (6) NSC Nuclear Safety Commission, 44th regular meeting report (2006).

特集 (2015 日本放射化学会年会 若手優秀発表賞受賞者による研究紹介)

ウシの歯の Sr-90 と Cs-137 濃度を指標とした
環境中からウシへの取り込みの時間変化の解析

小荒井一真¹、木野康志¹、西山純平²、高橋 温³、鈴木敏彦^{4,5}、清水良央⁴、
千葉美麗⁴、小坂 健^{4,5}、佐々木啓一⁴、福田智一⁶、磯貝恵美子⁶、岡壽 崇^{1,7}、
関根 勉^{1,7}、福本 学⁸、篠田 壽⁴

(東北大学院・理学研究科¹、東北大学・理学部²、東北大学病院³、
東北大学院・歯学研究科⁴、東北大学・災害科学国際研究所⁵、東北大学院・農学研究科⁶、
東北大学・高度教養教育・学生支援機構⁷、東北大学・加齢医学研究所⁸)



1. はじめに

2011年3月に発生した福島第一原子力発電所(FNPP)事故後、東北大学では「被災動物の線量評価事業」が立ち上げられた(1)。本プロジェクトでは、ウシをはじめ旧警戒区域内の被災動物の臓器などの放射能測定を行う。これを基に、低線量被ばくでの放射線の生物影響を調査のための内部被ばく線量の推定を行う。例えば、外部被ばくも合わせた生体組織の異常の有無や経世代影響を様々な角度から研究し、FNPP事故による生物への被ばく影響の情報を得る。したがって、本プロジェクトにおいては、内部および外部被ばく線量の推定は重要な役割を果たす。被ばく線量推定のためには、生体内および環境中に存在する放射性核種の定量が不可欠である。現在までに、我々はFNPP事故警戒区域内のウシ体内の放射性Cs、Ag、Teの分布(2)やウシ生殖器の被ばく影響(3)について報告した。本稿では、ウシの歯の中に含まれるSr-90およびCs-137の測定と取り込み量の評価(4)について解説する。

2. 歯への放射性核種の取り込み

歯は生体内でも特徴的な代謝メカニズムをもつ硬組織の1つである。Caの基質への沈着は形成時期がほとんどで、形成後の組織の入れ替わりはごくわずかになる。SrはCaと同族元素であるため、Sr-90の歯への取り込みも形成時期に限られ

ると推測される。よって、歯中のSr-90は、その形成時期に生物が体内に取り込んだSr-90の指標となる(5)。

しかし、ウシの歯の形成時期は、歯種によって異なることが知られている(6)。我々は、Sr-90の取り込み時期を詳細に特定するため、異なる形成時期のウシの歯に含まれるSr-90を比較した。この比較によって、1頭のウシの歯を測定するだけで、体内への取り込み量を過去に遡って明らかにすることができた(7,8)。このような試みはこれまでになかった。本プロジェクトでは300頭の歯を採取しており、今後汚染の時間経過や動物体内への取り込みの全貌を解明することができる。

一方、歯や骨の中にはKが取り込まれることも知られており(9)、同族元素であるCs(Cs-137)も取り込まれていることが予想される。Cs-137の歯中の代謝は臓器とは異なるため、我々はCs-137も測定した。

3. 放射能測定

我々は、Sr-90、Cs-137の含有量を歯種ごとに比較した。試料は、福島県内旧警戒区域内のA地点(FNPPより西に5km)とB地点(FNPPより南西に16km)において、それぞれ2頭のウシの下顎骨を採取した。採取したウシは、全て若ウシ(採取時2歳以下)であった。ウシの下顎骨には、9本の歯(乳歯:DM1、DM2、DM3、大白歯:M1、M2、M3、小白歯:P1、P2、P3)が付随しており、歯種ごとに取り出した。これらのうち形成時期の近いものをまとめ(6)、形成

の早い順に5つのグループに分類した (Group 1: DM1, DM2, DM3, Group 2: M1, Group 3: M2, Group 4: M3, P2, P3, Group 5: P1)。それぞれの歯は歯垢を取り除き、粉碎・乾燥し測定試料とした。

Sr-90の化学分離法は、「文部科学省：放射能測定法シリーズ2 ストロニウム分析法」(10)の発煙硝酸法を参考とし、歯試料の分析に最適化した。Sr-90-Y-90の β 線の測定は、低バックグラウンド 2π ガスフロー検出器によって行った。Cs-137は、試料を100 mLのU8型容器に均一に詰め、Ge半導体検出器を用いた γ 線スペクトロメトリーにより定量した。また、安定同位体のSrとCsは、それぞれICP-AES(東北大学巨大分子解析センター)、ICP-MS(東北大学工学研究科技術部)で測定した。

4. 結果と考察

A、B地点のウシの歯のCaあたりのSr-90放射能濃度は、A地点： $61\pm 4 \sim 831\pm 22$ mBq (g Ca) $^{-1}$ 、B地点： $40\pm 3 \sim 311\pm 13$ mBq (g Ca) $^{-1}$ であった。北海道で2008年に採取されたウシ骨中のSr-90放射能濃度は、 26.3 ± 5.7 mBq (g Ca) $^{-1}$ であり、このSr-90は大気圏内核実験由来のものである(11)。我々が採取した被災ウシの歯のSr-90放射能濃度は過去の報告に比べ高く、福島第一原子力発電所事故由来のSr-90が被災ウシに取り込まれたことは明らかである。

また、A、B地点のウシの歯の重量あたりCs-137放射能濃度はA地点： $187\pm 3 \sim 333\pm 6$ mBq (g dry) $^{-1}$ 、B地点： $27.5\pm 1.7 \sim 63.2\pm 1.3$ mBq (g dry) $^{-1}$ であった。B地点のウシは、筋肉や血液も採取することができた。それぞれのCs-137放射能濃度は、大腿筋： $436\pm 9 \sim 591\pm 11$ mBq (g tissue) $^{-1}$ 、血液： $15.3\pm 0.6 \sim 24.6\pm 0.8$ mBq (g tissue) $^{-1}$ であった。つまり、歯のCs-137放射能濃度は、筋肉の約1/10、血液の約3倍であった。

Fig. 1にウシの歯のグループごとのSr-90比放射能を示す。過去の報告は、CaあたりのSr-90放射能濃度のものが多かった。しかし、必須元素でない安定Sr量は、個体によりまちまちであることが我々の測定により明らかになったため(4, 7, 8)、比放射能で比較することとした。A、B地点のウシの歯に注目すると、Group 3からGroup

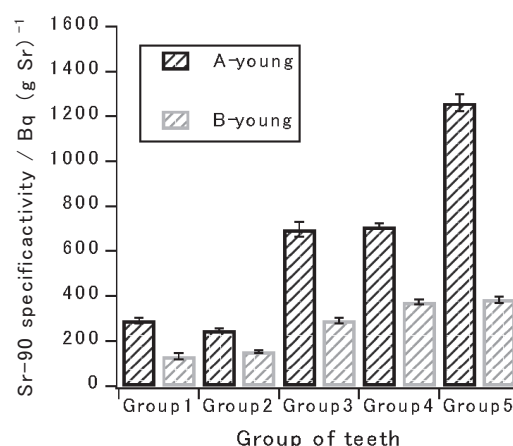


Fig. 1 Sr-90 specific activity in cattle teeth. Group1: DM1 (First deciduous molar), DM2 (Second deciduous molar) and DM3 (Third deciduous molar), Group2: M1 (First molar), M2 (Second molar), Group4: M3 (Third molar), P2 (Second premolar) and P3 (Third premolar) and P1 (First premolar). The groups of teeth are arranged according to the chronological order of tooth development. Error bars represent the counting errors of b-ray measurements.

5の歯はGroup 1、2の歯よりも比放射能が高い。Group 3からGroup 5の歯は、FNPP事故後に形成が開始されたものである。これは、環境がSr-90に汚染され、ウシに取り込まれたSr-90の増加により、歯の比放射能が増加したことを示している。一方、Group 1、2の歯は事故前に形成が終了していた。事故前のSr-90による汚染が非常に少ない環境において歯が形成されたため、比放射能が低い値であった。このように、ウシ歯中のSr-90を比較することで、環境からウシの取り込んだSr-90の変化を過去に遡って明らかにすることができた。

続いて、歯種ごとのCs-137比放射能を比較する。Fig. 2にウシの歯のグループごとのCs-137比放射能を示す。A、B地点それぞれのウシにおいて、比放射能の高い歯は、Group 1からGroup 3の歯であることがわかる。これらの歯は事故前にその形成が終了しているにもかかわらず比放射能が高く、Sr-90の分布とは異なる傾向となった。すなわち、Cs-137の歯への取り込み機構はSr-90とは異なることが示唆される。

放射性核種は、歯茎内部での形成期の取り込み、歯の内部を流れる組織液からの取り込み、外側か

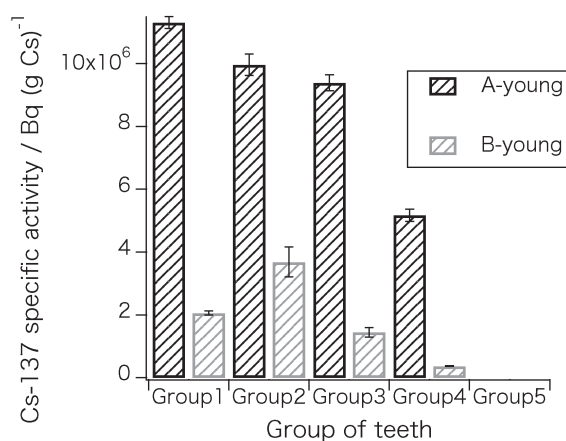


Fig. 2 Cs-137 specific activity in cattle teeth. Group1: DM1 (First deciduous molar), DM2 (Second deciduous molar) and DM3 (Third deciduous molar), Group2: M1 (First molar), M2 (Second molar), Group4: M3 (Third molar), P2 (Second premolar) and P3 (Third premolar) and P1 (First premolar). The groups of teeth are arranged according to the chronological order of tooth development. Error bars represent the counting errors of g-ray measurements.

らの放射性核種を含む歯垢の付着により歯に取り込まれると考えられる。Srは歯の主成分のCaと同族であるため、Sr-90は主に形成時に組織液から歯へ取り込まれる。Sr-90の形成後の組織液からの取り込みや歯垢と共に付着することも考えられるが、歯の形成時のSr-90の取り込みに比べるとその取り込み量はわずかであった。

一方、CsやKといったアルカリ金属元素はCaと同族元素でない。そのため、形成時の取り込みの他に、形成後の組織液からのCs-137の取り込みも推察される。また、歯垢部分を測定してみたところ、Cs-137比放射能は歯本体の約5倍であった。そのため、歯垢と共に歯の外部にCs-137が付着したと考えられる。しかし、Cs-137が歯へ集中して取り込まれる時期はない。そのため、歯の形成時だけでなく、歯の形成後にも同程度の取り込みがあると考えられる。

以上より、放射性核種は歯の形成時と形成後の歯の内外から取り込まれた。Sr-90は歯の形成時期に集中して取り込まれていた。一方で、Cs-137は歯の形成時の取り込みは多くなく、歯の内外の取り込みが寄与していることが示唆さ

れた。

5. まとめ

我々は、歯種ごとのSr-90、Cs-137を比較することで、ウシが環境中から体内に取り込んだSr-90、Cs-137の量の変化を過去に遡って明らかにした(4, 7, 8)。Sr-90の歯への取り込みは、歯の形成時に集中的に取り込まれたものであった。そのため、歯の比放射能の時間変化から、事故による環境中のSr-90の増加により、ウシへのSr-90の取り込みが増加していたことを明らかにした。一方、Cs-137は、形成時から継続して歯に取り込まれていたと考えられる。そのため、取り込み量の時間変化はSr-90とは異なる傾向を示した。今後、歯へのCs-137の取り込み機構を詳細に明らかにしていけば、歯中のCs-137も環境中から生体への取り込みの時間変化の指標にすることができると考えられる。また、歯と生体内での核種の存在比が明らかになれば、歯の核種の存在量を調べるだけで全身の存在量が推定できることになり、内部被ばく線量を推定する際の指標となることが期待される。これを実証するためこれまで収集した300頭に及ぶ試料を吟味し、測定を行っている。

引用文献

- (1) 被災動物の包括的線量評価事業, <http://www2.idac.tohoku.ac.jp/hisaidoubutsu/>.
- (2) T. Fukuda, Y. Kino, Y. Abe, H. Yamashiro, Y. Kuwahara, H. Nihei, Y. Sano, A. Irisawa, T. Sekine, M. Fukumoto, H. Shinoda, Y. Obata, S. Saigusa, T. Sekine, E. Isogai and M. Fukumoto, Plos One, 8, e54312 (2013).
- (3) H. Yamashiro, Y. Abe, T. Fukuda, Y. Kino, I. Kawaguchi, Y. Kuwahara, M. Fukumoto, S. Takahashi, M. Suzuki, J. Kobayashi, E. Uematsu, B. Tong, T. Yamada, S. Yoshida, E. Sato, H. Shinoda, T. Sekine, E. Isogai and M. Fukumoto, Sci. Rep., 3, 2850 (2013).
- (4) 小荒井一真、木野康志、高橋温、鈴木敏彦、清水良央、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、関根勉、福本学、篠田壽、Proceedings of the 16th

- Workshop on Environmental Radioactivity, 285-290 (2015).
- (5) P. Froidevaux, J. J. Geering, J. F. Valley, *Sci. Tot. Environ.*, 367, 596-605 (2006).
- (6) B. Brown, P. V. Christofferson, M. Massler and M. B. Weiss, *Am. J. Vet. Res.*, 21, 7-34 (1960).
- (7) 小荒井一真、木野康志、高橋温、鈴木敏彦、清水良央、千葉美麗、小坂健、佐々木啓一、福田智一、磯貝恵美子、岡壽崇、関根勉、福本学、篠田壽、*Proceedings of the 15th Workshop on Environmental Radioactivity*, 268-275 (2014).
- (8) K. Koarai, Y. Kino, A. Takahashi, T. Suzuki, Y. Shimizu, M. Chiba, K. Osaka, K. Sasaki, T. Fukuda, E. Isogai, H. Yamashiro, T. Oka, T. Sekine, M. Fukumoto and H. Shinoda, *Sci. Rep.*, Submitted.
- (9) 荒谷真平、「骨の生化学」、医歯薬出版(1960).
- (10) 文部科学省、放射能測定シリーズ2、放射性ストロンチウム測定法(平成15年)
- (11) 文部科学省、第51回環境放射能調査研究成果論文抄録集

特集 (2015 日本放射化学会年会 若手優秀発表賞受賞者による研究紹介)

105 番元素 Db の化学実験のための Aliquat 336 樹脂を用いた Nb, Ta のフッ化水素酸中からの固液抽出

佐藤大輔¹、村上昌史¹、大江一弘¹、本山李沙¹、羽場宏光²、小森有希子²、
豊嶋厚史³、水飼秋菜³、菊永英寿⁴、後藤真一¹、工藤久昭⁵
(¹新潟大院自然、²理研仁科セ、³原子力機構、⁴東北大電子光セ、⁵新潟大理)



原子番号 104 番以降の元素は超重元素と呼ばれ、生成率が小さく非常に短寿命であることからその化学的性質は不明瞭な部分が多い。超重元素の中で、当研究では特に 105

番元素 Db のフッ化物錯形成に着目した。近年、²⁶²Db の溶液化学研究として、フッ化水素酸系やフッ化水素酸 / 硝酸系における陰イオン交換実験が、Db の軽い同族元素である Nb, Ta とともに精度よく行われてきており^[1-2]、フッ酸 / 硝酸系における実験では²⁶²Db が Nb に近い分配係数 K_d を示したことから、Db が Nb と同様のフッ化物錯体である DbOF_4^- だと推定された^[2]。しかし、Db のフッ化物錯体の推定に必要な Nb, Ta のトレーサー量におけるフッ化物錯形成の情報は少なく、より詳細な調査を行う必要があった。そこで、イオン対抽出剤 Aliquat 336 により特定の電荷を持つ錯体のみを抽出できる実験条件を探索することで、Nb, Ta および Db のフッ化物錯体についてより推定しやすくなるのではないかと考えた。これまで、本研究では Nb, Ta のトレーサー量におけるフッ化水素酸と Aliquat 336/1,2-ジクロロエタン溶液を用いた溶媒抽出実験を行ってきており^[3]、 10^{-4} M Aliquat 336 溶液を用いたとき ^{95g}Nb, ¹⁷⁹Ta の分配比 D の変化はフッ化水素酸濃度に対して、¹⁷⁹Ta は 0.3 M HF 付近で極大をとるような傾向を示した一方で、^{95g}Nb はフッ化水素酸濃度が大きくなるにつれて D 値が減少していくという傾向が示された (Fig. 1)。また、抽出剤濃度を 10^{-8} – 10^{-1} M の間で変化させた際の D 値の変化を

調査したところ、Nb, Ta とともに傾き ≈ 1 の直線関係が得られたことから 1 価の陰イオンフッ化物錯体が抽出されていることが確認され (Fig. 2)、 NbOF_4^- , NbF_6^- および TaF_6^- という化学種が抽出されていることが推定された。

²⁶²Db は非常に短寿命 ($T_{1/2}=34$ s) な核種であるため、本研究では Db 実験において迅速化学分離装置 ARCA を用いた逆相クロマトグラフィーを適用することを検討している。

そこで今回、ARCA を用いた Db の逆相クロマトグラフィー実験に向け、スチレン-ジビニルベンゼン共重合体 CHP20/P30 に Aliquat 336 を担持

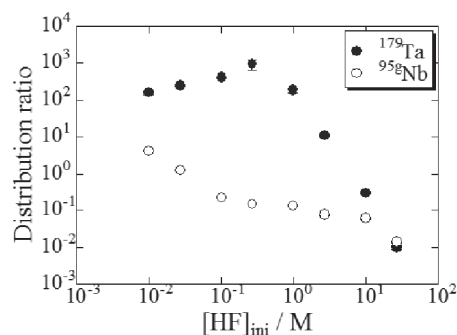


Fig. 1 分配比 D の HF 濃度依存性

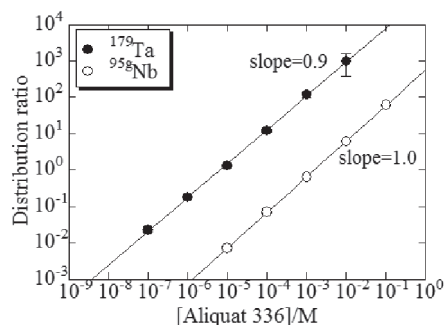


Fig. 2 分配比 D の Aliquat 336 濃度依存性 (2.7 M HF)

させた^[4]、32 wt% Aliquat 336 樹脂を調製し、Nb, Ta のトレーサー量における固液抽出実験を行った^[5]。固液抽出実験ではシリンジレスフィルターに、^{95g}Nb, ¹⁷⁹Ta トレーサーを含む 400 μ L のフッ化水素酸と 10 mg 程度の Aliquat 336 樹脂を加えて一定時間振盪した後、プランジャーを押し込み相分離し、上澄みを 250 μ L 分取し Ge 半導体検出器で放射能を測定した。このとき、樹脂を加えずに同様の操作を行った対照実験も同時に行い初期放射能とした。分配係数 K_d は以下のように算出し、樹脂中の Nb, Ta の放射能は初期放射能から上澄みの放射能を差し引くことで求めた。

$$K_d = \frac{(A_{ini} - A_s)/m_r}{A_s/V_s}$$

A_{ini} : 初期放射能 m_r : 樹脂の重量 A_s : 水相の放射能 V_s : 水相の体積

はじめに、1 M フッ化水素酸を用いて ^{95g}Nb, ¹⁷⁹Ta の分配係数 K_d の振盪時間依存性を調査し、平衡到達までの時間を確認した。この結果、^{95g}Nb, ¹⁷⁹Ta とともに振盪時間が 30 秒以内で平衡に到達することがわかった。十分な振盪を行うため、実験に用いる振盪時間を 5 分間と設定し以後の実験を行った。次に 1–27 M フッ化水素酸を用いて、^{95g}Nb, ¹⁷⁹Ta の K_d 値のフッ化水素酸濃度依存性を調査した (Fig. 3)。Fig. 3 から、フッ化水素酸濃度が大きくなるにつれ、¹⁷⁹Ta の K_d 値は徐々に減少する傾向が見られた。一方で、^{95g}Nb の K_d 値は 10 M HF までは K_d 値が減少し、それ以上の濃度では K_d 値は徐々に大きくなるという傾向が確認され、Nb, Ta 間で抽出挙動が異なることがわかった。しかしながら、^{95g}Nb の 10–27 M HF における挙動は Fig. 1 の溶媒抽出実験で得られた結果とは異なっており、その違いに関して今後さらなる検討が必要となっている。また、理化学研究所 K70 AVF サイクロトロン施設において、より短寿命の ^{90g}Nb, ¹⁷⁸Ta と ARCA を用いたオンラインカラム実験を行い、Glückauf の式により溶離曲線からピーク体積 V_p を求めることで K_d 値を算出し、Fig. 3 のバッチ実験の結果と比較した。ここで、 A_{max} は溶離ピーク時の放射能、 N は理論段数である。

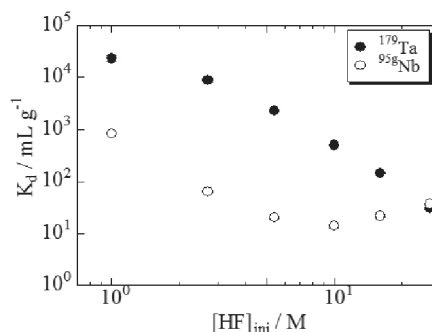


Fig. 3 配比 K_d の HF 濃度依存性

$$A(v) = A_{max} \exp\left(-\frac{N(V_p - V)^2}{V_p V}\right) \quad \text{--- Glückauf の式}$$

$$K_d = \frac{V_p}{m_r} \quad \text{--- カラム実験における } K_d$$

その結果、Nb, Ta とともに Fig. 3 の傾向と類似した傾向を得ることができ (Fig. 4)、実験条件などを最適化することで、本実験系が将来的に Db 実験に適用可能であることが示された。

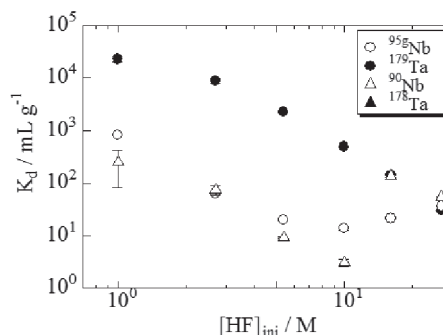


Fig. 4 分配係数 K_d の HF 濃度依存性のバッチとオンラインの比較

参考文献

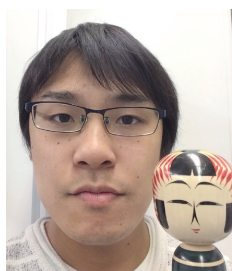
- [1] K. Tsukada et al., *Radiochim. Acta* **97**, 83 (2009).
- [2] Y. Kasamatsu et al., *Chem. Lett.* **38**, 1084 (2009).
- [3] 佐藤大輔 ほか, 第 57 回放射化学討論会 1A10 (2014).
- [4] H. Haba et al., *Radiochim. Acta* **95**, 1 (2007).
- [5] 佐藤大輔 ほか, 第 58 回放射化学討論会 P07 (2015).

特集 (2015 日本放射化学会年会 若手優秀発表賞受賞者による研究紹介)

MA/Ln 分離における mono-triazinyl-phenanthroline 系抽出剤の合成とその性能評価

亀澤明憲¹、鈴 伸一²、小林 徹²、坂口 綾¹、末木啓介²

(¹筑波大学大学院数理工学物質科学研究科化学専攻, ²日本原子力研究開発機構)



MA (マイナーアクチノイド元素) と Ln (ランタノイド類元素) に対する群分離技術は高レベル放射性廃棄物の減容化や核変換プロセスにおいて重要である (1-3)。しかし多くの課題

が山積しており実用化段階には至っていない。本研究では群分離に対して多くの実績があり、また今も研究が盛んである湿式抽出によるアプローチを試みた (4-7)。今回は MA/Ln 選択性が期待される 2-(1,2,4-triazin-3-yl) 1,10-phenanthroline : t-Phen 系抽出剤を用いて Ln に対する各種性能評価実験を行った。t-Phen 系抽出剤は既に Bhattacharyya らにより Am/Eu 抽出分離性能が報告されているが、あまり芳しいものではなかった (8)。しかしその構造は良好な抽出性能を持つ BTP や BTPhen 系抽出剤と類似する点も多く、一概に t-Phen 構造を持つ分子の抽出性能が悪いとは断定できないと考えた (9,10)。そこで我々は t-Phen 分子の置換基効果や Ln シリーズに対する抽出性能など、殆ど報告されていない基礎化学的側面から t-Phen 系抽出剤の性能について検証を行った。

本研究ではトリアジン基の 5, 6 位に異なる置換基を有する t-Phen 系抽出剤を 3 種類合成した (Fig.1)。置換基は Me 基、Et 基、Ph 基の三種類である。抽出剤における置換基効果はその多くが立体障害であるが、当誘導体における報告はない。これら抽出剤に対して Ln 類に対する液-液抽出実験、紫外可視分光分析を行った。今回はその結果について報告する。

各抽出剤は Bhattacharyya らの報告に倣い合成した (8)。いずれも水和水が存在しており、Et 基を持つ抽出剤は若干の分解性を有していた。こ

れは ¹H NMR、ESI-MS の結果から、ベンジル位における酸化が原因であると推測された。

液-液抽出実験では油相として 2-bromohexanoic acid を添加した CHCl₃ を、水相には各種 Ln が 1ppm ずつ含まれる硝酸水溶液を用いた。全ての系において抽出剤は Ln に対して過剰量加えた状態で実験を行った。分配比の算出は ICP-MS を用いた水相濃度の測定により行った。その結果を Fig.2 に示す。これより t-Phen 系抽出剤による希土類の分配比パターンは置換基により殆ど変化しない事、Me 基を持つ t-Phen は比較的低い分配比となる事が明らかになった。抽出における振とう操作の後に Me 基を持つものは液-液界面に沈殿が確認されており、これが分配比低下の原因だと思われる。こうした沈殿生成はプロトン化した抽出

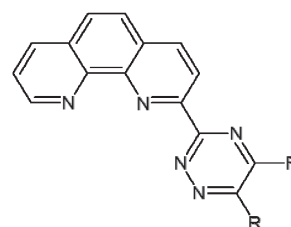


Fig. 1 t-Phen (R = Me, Et, Ph)

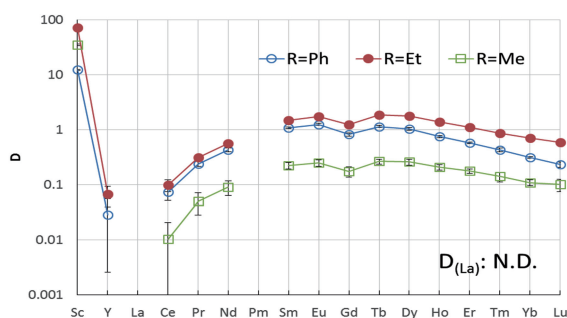


Fig. 2 Distribution ratio (D) of each agent. ([Agent] = 100 mM)

剤の溶解度が水相、油相ともに悪い事が原因だと推測される。

さらに水相中の硝酸濃度を変化させて同様の実験を行った。すると三種全ての t-Phen 系抽出剤において、硝酸濃度の上昇によりその分配比を急激に低下させる結果が得られた。これは低 pH 環境が抽出剤のプロトン化や、共抽出剤の脱プロトン反応を阻害しているためだと考えられる。

また紫外可視吸収スペクトルの測定も行った。各抽出剤のアセトニトリル溶液に対して Eu、HCl を少量ずつ滴下していき、スペクトルの推移を観測した (Fig. 3)。得られたデータをもとに Hyperquad2006 (©Protonic Software) を用いてカーブフィッティングを行った (Table 1)。この結果、抽出剤 (R=Me) と抽出剤 (R=Et) には酸解離定数、錯形成定数に殆ど差が無い事がわかった。t-Phen 系抽出剤における分配比の差は溶解度の差に強く影響されるという推測を肯定する結果となった。

学会発表後に各抽出剤の分解性、Am に対する抽出性能に関する実験を行った。

分解性を確かめるため、高硝酸性水溶液と各抽

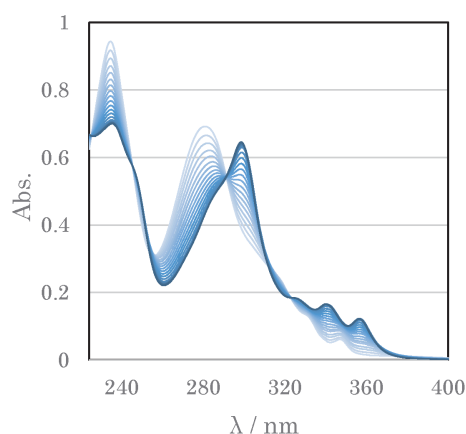


Fig. 3 Change in absorbance of an agent (R = Et) during Eu (NO₃)₃ titration.

Table 1 Acid dissociation and Eu³⁺ complexation constants of each agent.

R	pK _{α1}	pK _{α2}	logβ _n
Me	7.1 ~ 7.3	4.7 ~ 5.2	logβ ₂ : 11.7 ± 0.1
Et	7.5 ~ 7.6	4.9 ~ 5.1	logβ ₂ : 11.6 ± 0.1
Ph	7.0 ~ 7.3	3.8 ~ 4.4	logβ ₂ : 11.9 ± 0.1

出剤を接触させた。すると Me 基を持つものは激しい分解が起きたが、Ph 基を持つものについては全く分解が起こらなかった。置換基が分解性を大きく左右していると考えられる。こうした現象はトリアジン環の分解が原因だと推測される (11)。

Am 抽出では Fig.2 とほぼ同条件において、²⁴¹Am を用いたトレーサー実験を行った。両相の γ 線をウェル型 Ge で測定し分配比を算出した。その結果 Et 基持つものでは分配比 = 77 (SF: D_(Am) / D_(Eu) = 36)、Ph 基を持つものでは分配比 = 18 (SF = 14) という値が得られた。

引用文献

- (1) H. Oigawa et al., J. Nucl. Mater., **415**, 3, (2011), 229-236.
- (2) 大井川 宏之 (JAEA、原子力基礎工学研究開発部門)、第 9 回東海フォーラム、「放射性廃棄物の核変換技術への挑戦」(2014)。
- (3) G. Modolo et al., Radiochim. Acta., **100**, (2012), 715-725.
- (4) M. G. B. Drew et al., J. Chem. Soc., Dalton Trans., (2000), 821-830.
- (5) M. Yu. Alyapyshev et al., Solv. Extr. Ion Exch., **32**, (2014), 138-152.
- (6) T. Kobayashi et al., Solv. Extr. Ion Exch., **45**, (2010), 2431-2436.
- (7) M. J. Hudson et al., Inorg. Chem., **52**, (2013), 3414-3428.
- (8) A. Bhattacharyya et al., RSC Adv., **2**, (2012), 7066-7073.
- (9) F. W. Lewis et al., J. Am. Chem. Soc., **133**, 33, (2011), 13093-13102.
- (10) M. J. Hudson et al., New J. Chem., **30**, (2006), 1171-1183.
- (11) C. Hill et al., J. Nucl. Sci. Tech., (2002), Suppl. 3, 309-312.

特集 (2015 日本放射化学会年会 若手優秀発表賞受賞者による研究紹介)

東京湾と千葉県都市河川の底質における福島第一原発事故由来の放射性セシウムの鉛直分布

添盛晃久、小豆川勝見、松尾基之

(東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻)



2011年3月に発生した福島第一原発事故に伴って、環境中に大量に拡散した放射性セシウムのうち、水圏での挙動や濃度分布については、東北地方の河川域や沿岸域などで研究例がある

[例えば1-3]。一方、都市域の閉鎖的な湾にあたる東京湾でも、事故直後に地上に沈着した放射性セシウムが風雨によって再び移動し河川を通じて沿岸域で沈着すると考えられている。また、陸域ではほとんどの事故由来放射性セシウムが表層5 cmの範囲にとどまり深層に沈降することはないとされている[4]が、水圏の堆積物中において放射性セシウムがどのように流入しどのような化学的挙動をするのか、それはどのような環境的要因に影響を受けるのかといったことは明らかになっていない。汚染状況の正確な把握のためには、これらの観点のもとで、流入経路(河川)や流入先(海域)にあたる地点での状況の推移を注意深く観察する必要がある。そこで本研究では、底質中の鉛直分布に注目し、実際の沈着状況を分析した。

底質試料は、2013年2月と8月に東京湾幕張沖で、深堀(人工的に掘削した地点)と平場(自然海底)の2地点で採取し、さらに、この地点に最も近い河口を持つ千葉県の都市河川、花見川において、下流・中流・上流にあたる、河口から4 km、8 km、16 km離れた地点で、2015年6月に採取した。採取の際にはコアサンプラーを用いて各地点で最大40 cm程度の柱状採泥を行った。採取後、一定の間隔で切断し、加熱乾燥・粉碎後にGe半導体検出器にて γ 線測定を行った。得られたデータに対し、含水率を加味し湿重量濃度とし、さらに環境中の放出が収まった時期にあたる

2011年3月21日に壊変補正を施し、放射性セシウムの正味の移動を議論できるようにした。

まず東京湾について、鉛直分布をみる前に、行政が取り組んでいるモニタリング事業と、本研究で得られた海底面から3 cm深までの表層の濃度の推移との整合性を確認した。東京湾における本研究の採取地点では、事故以前から所属研究室の環境分析研究で継続的に試料採取を行っていて、そのデータも加味して経時変化を追うことができた[5]。表層における経時変化のようすをFig.1に示す。東京湾では事故発生後約1年でピークに至り、特に深堀地点では2011年8月から2012年2月にかけて7倍も濃度が増加したが、2012年2月から同年8月にかけては深堀・平場ともに濃度が半減し、その後は同程度の濃度で推移している。このトレンドは行政が取り組んでいるモニタリングなどで示されたものとも合致しているが、表層のデータだけでは、横ばいとなっている部分において、物質移動自体が止まったのか、深層への移行と外部からの流入を繰り返しているのか、明らかにはできない。この観点からも、放射性セシウムの鉛直分布を調べる意義があると考えた。

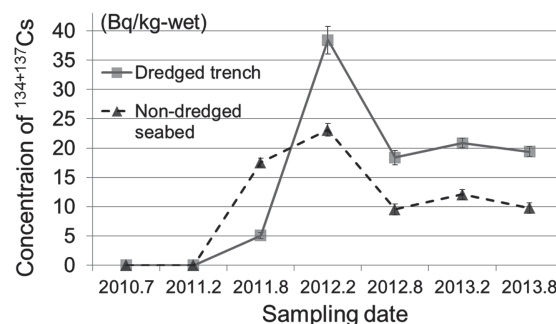


Fig. 1 Time dependence of radioactive cesium concentration in Tokyo-bay's sediments from 2010.7 to 2013.8

Fig. 2 と Fig. 3 は、深掘地点と平場地点のそれぞれにおいて、放射性セシウムの半年間での鉛直分布の推移を示したものである。深掘・平場ともに、表層 5 cm までの部分での濃度に大きな変化は認められない一方で、深掘では 30 cm あまりの深層まで、平場では約 20 cm 深層まで検出され、表層にとどまっていないことが分かった。東京湾における平均的な堆積速度はおよそ 1 cm/y とされており [6]、この地点でも同程度の値となることを確かめている。このことから事故由来の放射性セシウムは、事故後約 2 年ないし 2 年半の間に堆積したと推定される層よりも深い層に存在していることになり、さらにその半年間でも堆積物を下方に移動した可能性がある。一方地点別に見ると、深掘では、到達最深度が半年で 9 cm ほど深くなり、中層部に認められるピークの位置も、半年で 6 cm 付近から 12 cm 付近にシフトしている。平場は、半年で 9 ~ 18 cm 付近への沈降量が増加しているが、深掘のほうが顕著な変動を示している。またインベントリの値も、深掘は 2013 年 2 月に 6.92×10^3 Bq/m²、8 月に 1.06×10^4 Bq/m²

という値となっているのに対し、平場では 2013 年 2 月に 3.21×10^3 Bq/m²、8 月に 5.81×10^3 Bq/m² という値を得て、深掘が平場よりも約 2 倍高い値で推移している。よって、人工的な掘削地にあたる深掘においては、放射性セシウムの集積機能を有していて、このような地形が「海のホットスポット」にあたるといえる。

次に花見川については、最表層の濃度が 4 km 地点で 354 Bq/kg (湿重量濃度、以下同じ)、8 km 地点で 497 Bq/kg、16 km 地点で 369 Bq/kg と、東京湾の表層に比べ 1 桁高いオーダーの濃度で、近いレベルの値を 3 地点で得た。しかし、鉛直分布を見ると深層での分布のようすは地点ごとに異なる傾向を示した (Fig. 4)。インベントリも、4 km 地点では 3.75×10^4 Bq/m²、8 km 地点で 9.44×10^4 Bq/m²、16 km 地点で 4.96×10^3 Bq/m² という地点間で大きく差のある値を得た。事故後一旦地上に沈着した放射性セシウムが再び移動する際には、河川の上流から中流を経由し下流に向けて運搬・集積され、下流付近ないし河口付近にて土砂の堆積に伴って蓄積されるものという予想を

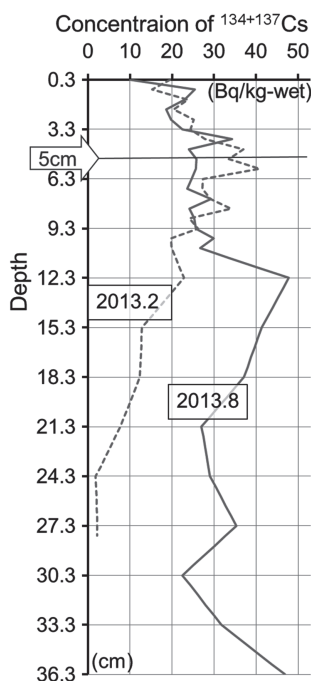


Fig. 2 Depth profile of radioactive cesium concentration at the dredged trench off the coast of Makuhari in Tokyo-bay (2013.2 and 2013.8)

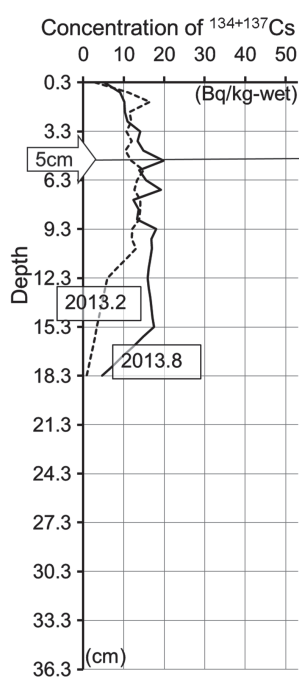


Fig. 3 Depth profile of radioactive cesium concentration at the non-dredged seabed off the coast of Makuhari in Tokyo-bay (2013.2 and 2013.8)

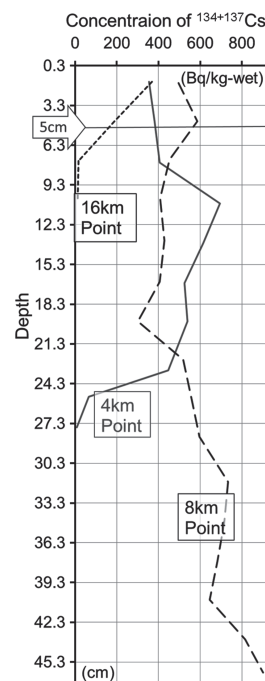


Fig. 4 Depth profile of radioactive cesium concentration at riverbeds of the each point in Hanamigawa river (2015.6)

持っていた。しかし予想に反し、中流にあたる地点にて、下流の値と比べても顕著な蓄積のスポットが存在することになる。このような現象は、各地点での地理的な特性に大きく影響を受けていると考えられる。たとえば最もインベントリが高かった8 km 地点は淀み溜まりの地点で、ペットボトルなどのごみが水面に漂っていて、放射性セシウムの付着した土壌なども同時にたまりやすいと考えられる。さらに、鉛 210 堆積速度法を適用しようとしたところ、同地点では底質の上層・中層・下層で同程度 (10 ~ 20 Bq/kg) の過剰鉛 210 の濃度であった。つまり、この地点の鉛直分布は、放射性セシウムが底質中を沈降したためにこの分布となったのではなく、事故後に洪水などのイベントで一挙に押し寄せた土壌層によって示された分布であるといえる。

本研究により、放射性セシウムの底質中濃度の鉛直分布に着目し、放射性セシウムの挙動に関する示唆を得た。すなわち、東京湾の鉛直分布と花見川での鉛直分布を比べた際に、どちらも表層か

ら数十 cm 深い層まで放射性セシウムが検出されたが、その原因は、花見川では事故後に一挙に堆積した現象と考えた。一方東京湾では、底質中での沈降現象が生じているのではないかと予想されるが、今後は他の測定データも組み合わせて、真にそのような現象が生じているのかを検討していく必要がある。

引用文献

- (1) A. Sakaguchi et al., *J. Env. Radioactivity*, **139**, 379 (2015).
- (2) S. Otosaka et al., *Env. Monit. Assess.*, **185**, 5419 (2013).
- (3) M. Aoyama, *YAKUGAKU ZASSHI*, **134**, 149 (2014).
- (4) K. Tanaka et al., *Geochem. J.*, **46**, 73 (2012).
- (5) A. Soemori et al., *BUNSEKI KAGAKU*, **62**, 1079 (2013).
- (6) H. Saga et al., *Fission Track News Letter*, **21**, 28 (2008).

特集 (2015 日本放射化学会年会 若手優秀発表賞受賞者による研究紹介)

陽電子消滅時刻運動量同時測定法による Ar ガス中での Ps 熱化過程

佐野陽祐^a、木野康志^a、岡 壽崇^{a,b}、関根 勉^b^a 東北大学大学院理学研究化学専攻、^b 東北大学高度教養教育・学生支援機構

ポジトロニウム (Ps) とは電子とその反粒子の陽電子からなる最も軽い水素様原子である。Ps は電子と陽電子のスピン向きにより、スピン 3 重項状態の *o*-Ps (オルソ-Ps) とスピン 1 重項状態の *p*-Ps (パラ-Ps) が存在し、それぞれ真空中では 142 ns と 125 ps の寿命で消滅する。Ps は中性粒子であるため、原子分子と散乱する際には電荷相互作用が電子交換相互作用に比べ小さい。Ps と原子分子の散乱断面積は電子と原子分子の散乱と比較することで、散乱時における電子交換の影響の解明が期待される量子力学的散乱問題として興味深い系である。中性かつ寿命をもつ Ps のビーム化は難しく、2000 年代以降になりようやく Ps ビームを用いた Ps と原子分子の散乱実験が可能となった。2010 年に Brawly らは、15 eV から 100 eV のエネルギー範囲では、入射粒子の速度に対して比較すると、Ps と原子分子の散乱断面積が、電子と原子分子の散乱断面積と近い値となることを *Science* 誌に報告した (1)。この理由や発現機構について、理論・実験双方の研究が盛んに進められている (2,3)。そこで本研究では、発表されたエネルギー領域よりさらに低い 15 eV 以下のエネルギー領域における Ps と Ar の運動量移行断面積を求め、これを用いて Ps の熱化過程を議論する。

Ps と Ar の運動量移行断面積を求めるために、Ar ガス中で生成した Ps の熱化過程を観測することにした。Ps は Ar ガス中に入射した陽電子が Ar との散乱時に電子を引き抜き束縛することで生成する。Ar ガス中では Ps 生成しきい値は 9.0 eV である。Ps の運動エネルギー E_{Ps} は、陽電子の運動エネルギーを E_{e^+} とすると、

$$E_{\text{Ps}} = E_{\text{e}^+} + 6.8 - E_{\text{ion}}$$

の関係にある。ここで 6.8 は Ps の束縛エネルギー (eV)、 E_{ion} は原子のイオン化エネルギー (Ar の

場合は 15.8 eV) である。生成後の Ps は、Ps の束縛エネルギー 6.8 eV 以上の運動エネルギーを持つ場合は、衝突を繰り返すと陽電子と電子に解離する。一方、6.8 eV 以下の運動エネルギーを持つ Ps は、Ar ガスとの衝突を通じて減速し熱化する。Ps の電子励起しきい値 (5.1 eV) 以下の運動エネルギーでは弾性散乱のみによりエネルギーを失う。寿命の短い *p*-Ps は、弾性散乱による減速過程において、自己消滅する。この消滅 γ 線のドップラー広がり測定すれば、消滅直前の *p*-Ps の運動量がわかり、その時間変化から、Ps の熱化過程を直接観測することができる。

陽電子線源としては ^{22}Na を用いた。 ^{22}Na の β^+ 壊変と同時に放出される 1275 keV の γ 線をプラスチックシンチレータで検出し、ガス中で対消滅した陽電子の消滅 γ 線のうちの 1 本を別のプラスチックシンチレータで検出する。2つの γ 線検出の時間差から、1つの陽電子が入射時に対して消滅した時刻が得られ、これを蓄積することにより陽電子消滅寿命の時間スペクトルが得られる。陽電子は消滅時の状態により特徴的な消滅速度をもつため、寿命解析から *p*-Ps、*o*-Ps、Ps を形成しない陽電子の強度と消滅速度がわかる。また、もう一方の対消滅 γ 線のエネルギーを Ge 半導体検出器で測定することで、消滅直前の陽電子と電子の重心系の運動量がわかる。陽電子消滅時刻と消滅時の γ 線の運動量を同時に測定することで、消滅 γ 線の運動量変化が陽電子消滅の時刻の関数として得られる (陽電子消滅時刻・運動量同時測定法: AMOC 法)。実験は、内径 2.8 cm のステンレス製耐圧セルの中心に、Ni 箔 (5 μm) に封じた陽電子線源 (^{22}Na : 0.4 MBq) を設置し、耐圧セル内に Ar ガスを満たし、7.5 MPa、室温に保って行った (4)。高密度条件では衝突頻度が増すため、*p*-Ps の短い寿命時間において Ps が減速する。

衝突頻度が増加することで、6.8 eV以上の運動エネルギーを持つPsが自己消滅をする前に十分に解離する。結果として高密度なガス中では、6.8 eV以下の運動エネルギーをもつ *p*-Psの消滅 γ 線を観測することができる。また高密度では陽電子やPsの飛程が短くなるため、検出器を線源近くまで近づけることが可能となり、検出効率を高くすることができる。

AMOC測定により得られた消滅 γ 線のドップラー広がり時間の時間発展をFig. 1に示す。横軸の0は電子と陽電子の静止質量エネルギー(511 keV)に対応する。(a)、(b)、(c)はそれぞれ、0.0から0.2 nsまで、0.2から0.6 ns、2.2から2.6 nsの時間におけるドップラー広がりである。AMOC測定で観測されたドップラー広がりには、*p*-Ps成

分の他に、線源、*o*-Ps、Psを形成しない自由陽電子の各過程での成分を含むが、陽電子寿命スペクトルから各成分の強度を求めドップラー広がりから除いた。

(a) および (b) では *p*-Ps 消滅由来の狭い成分とその他広い成分の2成分が観測されたが、(c)の時間領域では *p*-Ps がほとんど消滅したため、*p*-Ps 以外の広い成分のみが観測された。各時間におけるドップラー広がり成分から、*p*-Psの平均運動エネルギーを求め、時間の関数としてFig. 2に示した。

Psは3.7 eVで生成し、1.0 nsの間に1.0 eVまで減速する様子が観測された。PsとArの散乱時における非弾性散乱しきい値は5.1 eVである。今回の測定で観測されたエネルギー領域では、Ps

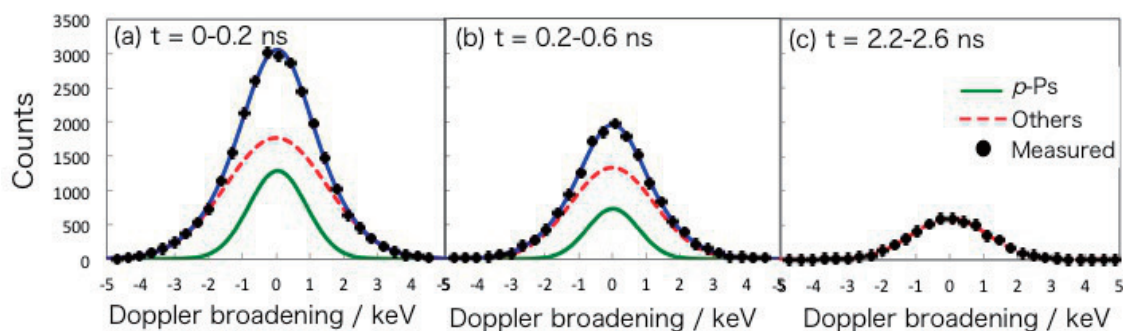


Fig. 1 Time dependence of Doppler broadening which was measured in 7.5 MPa Ar gas at room temperature. Circle (●) shows measured values. Solid and dotted lines show *p*-Ps component and other components, respectively.

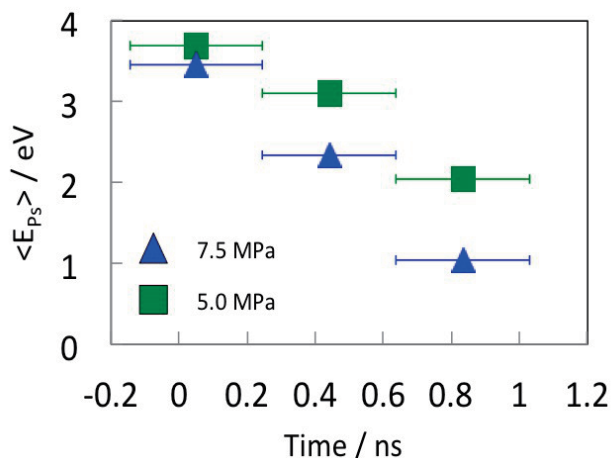


Fig. 2 Time dependence of the average kinetic energy of Ps. Triangle (▲) and square (■) show measured values in 7.5 MPa Ar gas and 5.0 MPa Ar gas, respectively.

は弾性散乱によってエネルギーを失っている。Psの弾性散乱による減速は、時間に対する微分方程式として以下の式で記述される (5)。

$$\frac{dE_{Ps}(t)}{dt} = -nv_{Ps}\sigma_m \cdot \frac{2M_{Ar}m_{Ps}}{(M_{Ar} + m_{Ps})^2} \left\{ E_{Ps}(t) - \frac{3}{2}k_B T \right\}$$

ここで、 σ_m : Ps-Arの運動量移行断面積、 v_{Ps} : Psの速度、 n : Arの数密度、 M_{Ar} : Arの質量、 m_{Ps} : Psの質量、 k_B : ボルツマン定数、 T : 温度である。右辺は、衝突頻度と熱エネルギーにあるArと衝突によるPsの運動エネルギー減少量の積を示す。理論計算では、6.8 eV以下のエネルギーにおいてPs-Arの運動量移行断面積のエネルギー依存性は小さいので、今回は、運動エネルギーの測定点が少ないため、運動量移行断面積がエネルギーに対して一定であると仮定し $E_{Ps}(t)$ を求め、実験値との比較から、運動量移行断面積を求めた。 $t = 0$ のときのPsの初期運動エネルギーは3.9 eVであった。また、Ps-Arの運動量移行断面積は、1.0から3.9 eVの運動エネルギーの範囲において $0.019 \pm 0.01 \text{ nm}^2$ であった。Biswasら(6)やBlackwoodら(7)の理論計算値は、このエネルギー領域で、 0.05 nm^2 から 0.02 nm^2 、 0.13 nm^2 から 0.07 nm^2 にそれぞれ減少している。また、この値はさらにエネルギーが低い領域でいくつかのグループにより報告されている。長嶋らはシリカエアロゲルの空隙中で生成したPsとガスを磁場中で散乱させ、磁場クエンチングにより2光子消滅した o -Psのドップラー広がりから求めた、0.5 eV以下の運動エネルギー領域における運動量移行断面積 $0.15 \pm 0.10 \text{ nm}^2$ を報告している(8)。また、M. Skalseyらはガス中で磁場を印加することで o -Psの時間領域のドップラー広がり解析することで求めた、0.5 eVから2 eVのエネルギー領域における運動量移行断面積 $0.07 \pm 0.01 \text{ nm}^2$ を報告している(9)。本研究で求めた結果は、これらの先行研究の値に比べ小さな値であった。今後この違いを検討するため、時間分解能を向上し断面積のエネルギー依存性を考慮する必要がある。

今回求めたPs-Arの運動量移行断面積と、先行研究で報告されている0.6 eV以下のエネルギー領域での運動量移行断面積の結果を用いて、Psの熱化時刻を見積もった。PsのArガス中にお

ける熱化時刻はおよそ 6 ns nm^{-3} であった。これは、Arガス中における陽電子熱化時刻 13.6 ns nm^{-3} より(10)も速い。3.9 eV以下の運動エネルギーにおける、陽電子とArの運動量移行断面積は(11)、PsとArの運動量移行断面積とほぼ同程度である。 β^+ 壊変核種より放出された陽電子はArガス中においては、Ar原子の第一電子励起しきい値の11.6 eV以下の運動エネルギーから弾性散乱により減速する。一方、Psは陽電子の電子引き抜き反応により生成する。Ps生成時に陽電子の運動エネルギーが電子引き抜き反応に使われるため、生成後のPsの運動エネルギーは入射陽電子の運動エネルギーに比べ9 eV小さくなる。本研究ではArガス中で生成したPsの初期運動エネルギーの平均は3.9 eVであった。Arガス中において、陽電子は11.6 eVから、Psは3.9 eVから弾性散乱過程を通じて熱化する。この初期運動エネルギーの差が熱化時間に影響したと考えられる。

本研究では、Arガス中における p -Psの消滅 γ 線のエネルギーの時間変化からPsとArガスの運動量移行断面積を求め、Psの熱化過程を議論した。我々はPsビームと違った実験装置系で数eV程度のエネルギー領域におけるPsの散乱機構を解明するために、電場を印加することにより陽電子の運動エネルギーをコントロールし、より詳細な運動量移行断面積測定を目指している。

引用文献

- (1) S. J. Brawley, S. Armitage, J. Beale, D. E. Leslie, A. I. Williams, and G. Laricchia, *Science* **330**, 789 (2010).
- (2) I.I. Fabrikant and G.F. Gribakin, *Phys. Rev. Lett.* **112**, 243201 (2014).
- (3) S.J. Brawley, S.E. Fayer, M. Shipman, and G. Laricchia, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 223201 (2015).
- (4) Y. Sano, Y. Kino, T. Oka, and T. Sekine, *J. Phys.: Conf. Ser.* **618**, 012010 (2015).
- (5) W. C. Sauder, *J. Res. Nat. Bur. Stand.* **72A**, 91 (1968).
- (6) P. K. Biswas and S. K. Adhikari, *Chem. Phys.*

- Lett. **317**, 129 (2000).
- (7) J. E. Blackwood, M. T. McAlinden, and H. R. J. Walters, *J. Phy. B* **35**, 2661 (2002).
- (8) Y. Nagashima, M. Kakimoto, T. Hyodo, K. Fujiwara, A. Ichimura, T. Chang, J. Deng, T. Akahane, T. Chiba, K. Suzuki, B. T. A. McKee, and A. T. Stewart, *Phys. Rev. A* **52**, 258 (1995).
- (9) M. Skalsey, J. J. Engbrecht, C. M. Nakamura, R. S. Vallery, and D. W. Gidley, *Phys. Rev. A* **67**, 022504 (2003).
- (10) S. J. Tao, *Phys. Rev. A* **1**, 1257 (1970).
- (11) R. P. McEachran, A. G. Ryman and A. D. Stauffer, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* **12**, 1031 (1979).

特集 (研究室紹介 — 2015 若手の会から —)

2015 日本放射化学会年会・第59回放射化学討論会 若手の会

小森有希子 (理研仁科加速器研究センター)

若手の会は、日本放射化学会に所属する学生・若手研究者間の相互交流を深めることを目的として約40年前に発足し、毎年放射化学討論会に合わせて若手の会シンポジウムや懇親会を主催しています。今年度の若手の会は2015日本放射化学会年会・第59回放射化学討論会の初日である2015年9月25日、東北大学川内北キャンパスにて開催され、筆者が世話人を務めさせていただきました。参加者は新潟大学から10名、日本原子力研究開発機構から3名、首都大学東京から3名、茨城大学から2名、一関工業高等専門学校から1名、広島大学から1名、金沢大学から5名、大阪大学から12名、徳島大学から1名、筑波大学から4名、理研から筆者を含め2名の、計44名の学生ならびに若手研究者の方々にお集まりいただきました。

若手の会の内容は世話人に一任されており、今年度は

1. 世話人あいさつ
2. 各研究室の代表者による研究室紹介
3. 依頼講演 (講師: 浅井志保先生)
4. 相互連絡
5. 懇親会

というプログラムで開催しました。始めに新潟大学、首都大学東京、茨城大学、広島大学、金沢大学、大阪大学、徳島大学、筑波大学の代表者に口頭で3分程度の研究室紹介をしていただきました。

依頼講演では、日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究センター分析化学研究グループの浅井志保先生をお招きし、「使用済み燃料中に含まれる長寿命核種の質量分析」という題目でご講演をいただきました。使用済み燃料中の長寿命核種の分析の必要性から、具体的な試料調製や質量分析の例、実際の作業現場の様子などを分かり易くご紹介いただきました。放射化学の様々な分野の学生・若手研究者にとって、等しく勉強になるお話であったと思います。会の最後に、来年度の若手の会の世話人を新潟大学の佐藤大輔氏に依頼し、承諾をいただきました。その後、仙台駅前の居酒屋にて懇親会を開き、仙台の海鮮とお酒を楽しみながら、若手間で自由に交流いただき、より一層の親睦を深めました。この若手の会は、異なる研究機関に所属する若手研究者同士が出会う貴重な機会です。今後もこの会を通じて若手研究者の活動が刺激され、放射化学会を発展させていければと思っています。

最後に、今回若手の会の開催に関してご助力いただきました、2015日本放射化学会年会・第59回放射化学討論会事務局の皆様、講師の浅井志保先生、研究室紹介にご協力いただきました皆様、そして前回の世話人の新潟大学の大江一弘先生に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。続きに、広島大学と徳島大学の研究室の紹介記事が掲載されていますので、ぜひご一読ください。

特集 (研究室紹介— 2015 若手の会から—)

広島大学放射線反応化学研究グループ

金子政志 (広島大学大学院理学研究科化学専攻)

我々、広島大学放射線反応化学研究グループは、中島寛教授、宮下直特任助教を初めとして、2015年11月の時点で学部生3人、博士課程前期の学生2人、博士課程後期の学生4人、大学院リーディングプログラムの学生4人の13人の学生からなるグループである。

主な研究テーマは、 ^{57}Fe メスバウアー分光を用いた錯体化学研究であり、i) 集積型錯体の鉄二価スピントスオーバー挙動、ii) 二核有機金属錯体の合成および酸化状態に関する研究の2つに分けられる。前者は、鉄錯体の正八面体環境をビルディングブロック、ゲストの吸脱着、金属希釈効果などにより変化させることによって、鉄の高スピン-低スピン間のスピンスイッチング挙動を制御することを目的としている。後者は、クロスカップリング反応やカラムクロマトグラフィーなどの合成化学的手法を用いて、Fe, Ru, Osを含む二核有機金属錯体を合成し、二金属を伴った酸化的付加反応や金属間の電子交換反応を追跡することにより展開している。近年、d, fブロック金属イオンの溶液化学研究も開始した。溶媒抽出法や量子化学計算を組み合わせることによって、fブロック金属の抽出分離挙動に対する理論研究やMo, Wイオンの溶存化学種に対する研究も行っている。そのほかにも、環境中での放射性物質の吸脱着・移行に対する解明も試みている。詳しい研究内容については、当研究グループのホームページ (<http://home.hiroshima-u.ac.jp/radichem/index.html>) に紹介しているので興味がある方はこちらをご覧ください。

学部生の研究テーマは、基本的に本人の希望や興味を尊重して割り振られ、教員の企画のもと研究方針が設定されていく。大学院生の研究テーマは、卒業研究等を通じて得られた経験や結果にしたがって各人が企画し、教員の指導のもと展開される。特に、博士課程後期の学生は、解決課題

の立案から学会や論文での発表に至るまで責任を持って取り組んでいる。このことは、博士人材に求められるプロジェクトリーダーとしての資質を高めることに繋がる。また、学生は学年によらず年に一回以上の学会発表の機会が与えられ、各々のプロジェクトに対する責任を果たすために、日々研究活動を行っている。その報告の場が、週一回行われるセミナーであり、実験報告および文献紹介によって研究の進捗状況を知ることができる貴重な場である。学生には外国人も含まれるため、プレゼンテーションは原則英語を用いて行われるが、文献紹介や質疑応答については適宜日本語を用いることで深い議論を可能にしている。セミナーのアレンジは博士課程前期の学生が担当し、英語での文書作成や日程調整・変更の連絡など責任をもって遂行している。最後に、各種実験法や計算手法の理論・解析についての勉強会や、論文の執筆を手助けし合う自主セミナーなども、学生間で適時開催している。

当研究グループは、大学院リーディングプログラム“放射線災害復興を推進するフェニックスリーダープログラム” (<http://www.hiroshima-u.ac.jp/lp/program/ra/>) の学生も受け入れており、社会人や外国人などを含む刺激的な環境ではあるが、比較的穏やかな研究活動を送っている。というのも、日本人学生がチューターとなり外国人学生の日本での日常生活を支援していくことで、日々の研究生活においても円滑にコミュニケーションできる環境を作っているからである。さらに、期末ごとに催される飲み会や年一回の研究室旅行などを通じて、お互いが垣根をなくしていく努力を行っている。また、当研究グループは、理学研究科の一部門でありながら、理学部棟から少し離れた自然科学研究支援開発センターのRI総合部門棟内に居室や実験室を保持している。そのため、センターの教員や技術員の方々と、お花見

や忘年会を一緒に開催するなど、同じグループの構成員のように関わり合うことができるのも当研究グループの一つの特徴である。

当研究グループの研究テーマ・研究活動・特徴などについて簡単に紹介させていただいた。この

記事が我々の研究やグループに興味を持っていただくきっかけとなれば、この上ない幸福である。また、執筆の機会を与えてくださった理研の小森氏にはこの場を借りて感謝申し上げます。



集合写真 @ 島根ワイナリー (2015年10月研究室旅行)

特集 (研究室紹介 — 2015 若手の会から —)

徳島大学大学院 放射線理工学分野 先端放射分析化学研究室

武田晋作 (徳島大学大学院保健科学教育部保健学専攻)

徳島大学医学部 (大学院医歯薬学研究部) に所属している私たちの研究室は、阪間稔教授のご指導のもと研究活動を行っています。所属学生は博士後期課程1名、博士前期課程1名、学部学生3名と小規模であり、また学部学生は診療放射線技師を目指した病院実習と並行して研究活動を行うため、各々が異なったテーマについて日々取り組んでいます。

研究テーマとしては、環境中の放射能測定や ICP-MS を使用した元素分析など放射科学・分析化学などの基礎科学分野から、医療用機器開発や医療用 RI など医用分野まで幅広いテーマに対してトライしています。

前立腺がんの治療に用いられるのはヨウ素 I-125 のシードと呼ばれる微小線源形状で、1回の治療でおよそ 60~150 個程度を前立腺に永久挿入する治療法です。しかしながら、品質管理保証や線源保証責任の実施に非常に手間と時間要するという問題があり、この問題を解決するために徳島大学と地元企業とが共同して、新しいヨウ素シード品質管理測定システム (Brachytherapy Seeds Quality Assurance System : BSQAS) の開発に携わっています。

もう一つ力を入れているのが粒子・重イオン輸送計算コード PHITS (Particle and Heavy Ion Transport code System) というモンテカルロ・シミュレーションです。実験体系を構築し、中性子、陽子、重イオンを含む原子核、電子、光子などほぼすべての粒子の輸送計算を行い、加速器実

験の再現、人体内での放射核種の線量評価、一般 X 線撮影時の散乱 X 線による被ばく線量など、計算結果から推定評価することができます。幅広く応用利用が可能なため、私たちの研究室では積極的に講習会への参加を行い、自らの研究活動において活用できるように習得に励んでいます。

診療放射線技師として働く上での専門知識はもちろんですが、医療現場において放射線の専門家になるための基礎科学的な知識を養うことを目標にしており、今後も研究室の活動に精進していきたいと思っています。

余談ですが、「平成 28 年度核化学夏の学校」は来年、阪間教授が世話人を勤められ、四国の大学としては初主催である徳島で開催されます。せっかくの機会ですので多くの皆様のご参加をお待ちしております。



茨城県日本原子力研究開発機構にて研究室のメンバーと

編集後記

「放射化学の事典」(朝倉出版) 刊行によせて

海老原充 (首都大学東京 大学院理工学研究科)

1. はじめに

2015年9月に朝倉書店から日本放射化学会による編集書籍として「放射化学の事典」が発刊されました。私と日本原子力研究開発機構の永目諭一郎氏の2名が編集責任者となり、18名の編集者、127名の執筆者の協力のもとに完成しました。手元の記録によると2008年暮れに朝倉書店の担当者に構想を打診し、翌2009年1月に企画書を作成して、書店内での企画会議にかけて頂きました。従って、構想から出版まで7年かかったこととなります。この間、2011年3月の東日本大震災、およびそれに関連する原子力発電所事故があり、その分の遅れはやむを得ないものの、当初予定していた刊行予定を大幅に後送りしてしまったことは編集責任者の責めに帰されるべきところであり、執筆いただいた方々には心よりお詫び申し上げます。

2. 企画の経緯

恐縮ですが、少し個人的なことを書かせて頂きます。朝倉書店から「～の事典」と称する書籍が発刊されていることを知ったのはたぶん「元素の事典」を購入した頃からで、かなり古いこととなりますが、同書は今でもたまたまに手にすることがあります。2005年に刊行された「化学測定の手引 - 精度・精度・感度」(梅澤喜夫編)では1章分(“隕石の元素分析による太陽系の元素組成の推定”)を執筆させて頂きました。その後、日本地球化学会の編集による「地球と宇宙の化学事典」の刊行計画が同学会の中で発案され、当時(2008年)同学会の副会長をしていたこともあり、当時の会長の蒲生俊敬・東大気海洋研教授とともに編集に携わり、同書を地球化学会会長時の2012年に刊行しました。「地球と宇宙の化学事典」は全10章、292項目、総頁479で、ハードカバーとして出版されました。因みに初版刊行時の値段は12,000円でした。同書は日本地球化学会の会員が

中心となり、周辺分野の研究者にも積極的に声をかけて、「化学」をコアに据えながらも広い意味での地球化学、宇宙化学、言い換えれば地球科学、惑星科学を包括し、その分野の理解が得られる様な書籍にすることを目指しました。さらに重要視したことは、専門家のための書籍としつつも、平易で、かつ、最新の情報を盛った書籍にすることでした。これは、高校生や、場合によっては中学生に興味を持ってもらえるようにしたい、との思いでした。出来上がった書籍がどれくらいそうした目的を達したか、客観的な評価はよく分かりませんが、編集者、あるいは学会レベルの主観的見方からは、かなりポジティブな評価がえられたものと理解しています。

「地球と宇宙の化学事典」の説明が長くなりましたが、「放射化学の事典」はその延長上に企画されたものであることを理解して頂くためです。学会が総力を挙げて、その分野の発展を期して刊行するという点、さらには原稿料・編集料等ができるだけ学会の運営のために寄付して頂くという点でも、ほぼ同様の方針が採られました。内容として、高校生や、一般社会人にも判りやすい、初学者にも配慮した内容のものであるかという点では、残念ながらそうでない記述が散見されるのは、執筆依頼の時にそうした編集方針が充分伝えきれなかったため、編集責任者の責に帰されるものです。本書刊行が原子力発電所事故後ということで、社会一般から放射能、放射線への関心、注目度が高くなったこともあり、このできるだけ平易に、という点はもっと強調されるべきでしたが、この点がかえすがえすも残念に思います。

3. 書籍の概要

日本放射化学会編集として発刊されましたので、会員の少なからぬ方は執筆者として関わっておられ、また、多くの会員の方は手元に書籍をお

持ちかと思われまので、書籍の内容に就いての詳細な紹介は省略させていただきます。ここでは章のタイトルと章担当編集者(括弧内)のお名前(アイウエオ順)を列記させていただきます。

- 1章：放射化学の基礎(海老原充・永目論一郎)
- 2章：放射線計測(工藤久昭・横山明彦)
- 3章：人工放射性元素(永目論一郎・羽場宏光)
- 4章：原子核プローブ・ホットアトム化学(久保謙哉・酒井陽一・山田康洋)
- 5章：核・放射化学に関連する分析法(海老原充・松尾基之・三浦勉)
- 6章：環境放射能(柿内秀樹・田上恵子・百島則幸)
- 7章：原子力と放射化学(木村貴海・佐々木隆之)
- 8章：宇宙・地球化学(海老原充・日高洋)
- 9章：放射線・放射性同位元素の生命科学・医学への応用(石岡典子・榎本秀一・鷺山幸信)
- 10章：放射線・放射性同位体の産業利用(篠原厚)

各章に12から22の項目が取り上げられ、各項目1～4頁で説明されています。これらの項目にはトピック的な内容を取りあげた「コラム」を含みます。また巻末には5つの付表を配し、「事典」ならぬ「データブック」的要素を添えました。項目ごとのページ数は項目の重要度に応じて増減することを原則としたのですが、残念ながらそうなっていない箇所が散見され、バランスを欠くことになってしまいました。前記の記述内容のレベルの不統一とともに、編集責任者として反省したもう一つの点です。一度原稿が出てしまうと、それを修正して頂くことは容易でなく、大幅削減の依頼は不可能に近いものです。編集方針は執筆依頼時にしつこく執筆者にお伝えすることが重要で、今後こうした書籍に関わられる会員の方への経験談として記させていただきます。

4. 今後への期待

私は2012、2013学会年度に永目論一郎氏の後を受けて、日本放射化学会の会長を務めました。会長をお引き受けしたときに考えたことは2つありました。一つは、どうしたら会員の皆さんに学会を立ち上げて良かった、あるいは会員になって良かった、と思っ頂けるかということ、もう一つは、どうしたら放射化学のすそ野を広げられるか、ということでした。この思いは、会長をお

引き受けする前からずっと考えていたことでもあり、本書の企画はこの二つの思いに応えるものとして始まったと言えます。共同編集責任者である永目論一郎氏にも同じ思いがあったからこそ、二人三脚で発刊に至ったと信じています。

前記の通り、私は時期を相前後して、日本地球化学会と日本放射化学会の2つの学会の会長を務めさせていただきました。両学会には共通点があります。それはともに日本化学会から分離、独立した組織であることです。そうした行動の裏にあったものも共通で、日本化学会に対する何らかの不満、あるいは、そこまでいわないまでも、独立するメリットがあったのだろうと推察します。そうした共通点をもつ放射化学会と地球化学会ですが、違いは多々あります。私が両学会の役員や会長を経験して実感した大きな違いは、組織全体としての、その方向性やしなやかさ(柔軟性)に感じました。例えば、会の運営は理事会(放射化学会)や評議員会(地球化学会)で議論されますが、選出される役員の平均年齢は、会長、副会長のそれを含めて明らかな違いがあります。それを受けて、そうした会合での雰囲気や、議論の進め方にも大きな違いがありました。たとえば、若い役員がどの位自由に自分の意見を言えるか、という点に於いて。会のすそ野の広さや、異分野の研究者を取り込もうとする努力にも違いを感じました。総じて、放射化学会は保守的で、内向きの学会であると痛感しました。そして、それを何とか打破したいともがいた2年間でした。

「放射化学の事典」の紹介文から大分逸脱しましたが、実は放射化学会の若い会員の方に、会の活性化に向けて積極的に活動していただきたいとの思いで書きました。「放射化学の事典」はとりあえず完成しました。私はこの書籍の作成段階から、この書籍の改訂版を、是非若い世代の人が中心になって出版して頂きたいと考えてきました。編集者も著者も、全面的に入れ替える位のものを。書名を変更しても良いと思います。是非実現して下さい。そのためには、放射化学会がリベラルで、外向きの学会になることが必要だと思います。必要があれば、微力ながら応援させて頂くつもりです。ただ、プレイグラウンドに入ることだけは避けようと思います。若い人を信じていますから。

会議報告

原子力総合シンポジウム 2015 開催報告

松岡 猛 (原子力総合シンポジウム 2015 運営委員長)

1. 主催者：日本学術会議総合工学委員会

2. 開催日時：2015年7月16日(木)10時00分
～17時00分

3. 開催場所：日本学術会議講堂(東京都港区六
本木7-22-34)

4. 開催概要：

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、発電所周辺地域の広範な放射能汚染が引き起こされ、今なお、多くの方々が避難を余儀なくされる事態が続いている。また、事故炉の廃止措置に向けての作業は、かつて経験のない困難な課題の中、進められているが、今後長期にわたる継続的な努力を必要としている。このような中、日本学術会議総合工学委員会は、原子力のみならず他の技術分野の工学施設におけるリスクに着目し、「工学システムに対する社会の安全目標」を取りまとめた。

この検討結果を踏まえ、今後、先端技術を用いた巨大複雑システムの利用が社会に受け入れられるための安全の考え方について考察した。また、原子力技術に焦点を当て、その利用が社会にもたらす可能性についても、日本学術会議提言「研究用原子炉のあり方について」を踏まえ、原子力技術の可能性とそれを支える研究施設のあり方、さらには放射線利用のビジョンを紹介し、原子力技術の利用が社会にもたらすものとそれに伴うリス

クとの関係、さらには人材育成について議論した。

人材育成については、今回は広範な視点の中で、原子力基礎に立脚した人材育成にスポットを当てた。

5. 参加人数：

講演者：学術会議会員・連携会員8名、その他7名

参加者：約160名

マスコミ関係：朝日新聞、NHK等の取材

6. 特記事項

①事故後、原子力安全の再構築を主調テーマにした前回(H23.10.19)から3年半ぶりの再開であった。

②49学協会から共催・後援が得られた。

③総合工学としての原子力の安全を化学工学等と比較し、夢ある科学的側面と研究炉等停止の中性子科学への影響を第2部で取り上げた。第3部のパネル討論では研究炉と安全規制、停止の教育・人材育成への影響について公開討論が行われた。会場からも活発な質疑があり、熱気のある議論が行われた。

④マスコミ関係が多く取材し、翌日の原産新聞に報道された。

⑤日本学術会議機関誌「学術の動向」に、本シンポジウムに関連して、「安全・安心・リスク」を共通テーマに関する特集が組まれることになった。

会議報告

第4回環境放射能除染研究発表会・国際シンポジウム

森田昌敏（一般社団法人環境放射能除染学会東京事務所）

1. 主催者：一般社団法人環境放射能除染学会
2. 開催期間：平成27年7月8日(水)～平成27年7月10日(金)
3. 開催場所：タワーホール船堀（東京都江戸川区）
4. 参加人数：約450
5. 事業内容及び結果

8日～9日は研究発表会を開催し、放射性物質の発生源対策や除染計画・除染技術など多様なテーマについて合計108編（口頭発表：企画セッ

ション6編、一般56編、ポスター発表46編）の発表があり、両日でのべ約400名が登録し参加した。1階展示室では企業展示を開催し、除染技術、保安用品等の41社／団体が出展した。除染プラザ（環境省・福島県）より放射線に関する冊子（「データでなっとく放射線なすびの疑問」3冊セット）のご提供をいただき来場者に配布した。

10日には、環境省との共催で国際シンポジウムを開催した。フランス、ノルウェーより2名の、また国内からは4名の専門家・研究者を招聴し、セシウムの環境動態および中間貯蔵の現状、欧州における経験をご報告いただいた。市民開放し約150名を超える参加者があった。

会議報告

第54回核化学夏の学校

横山明彦（金沢大学・放射化学研究室）

今年の夏の学校は2015年8月29日から31日の二泊三日の日程で、石川県七尾市和倉温泉にある「天空の宿・大観荘」において幹事校金沢大学として催された。最近大学院入試の日程が8月末に集中しているのと、今年は関連の国際学会も8月にあったようで、誰もが都合の良い日程を見つけるのが難しかった。都合の悪い日程となった参加希望者にはこの場を借りてお詫び申し上げます。今回開催場所とした和倉温泉は開湯1200年とされる歴史の古い所で、傷ついた白鷺が癒しているのを漁師が見て温泉を発見したという伝説がある。地名の和倉とは「湧く浦」、つまり湯の湧く入り江を意味し、もともと海の中に温泉があったが、江戸時代には加賀藩の前田氏などによって整備され、共同浴場が置かれたようである。此处は金沢から車でも1時間以上かかるところで、少し遠いかと思ったが、この3月に金沢まで新幹線が来るようになったので、思い切って決めた。結果として参加人数は52人と例年とあまり変わらなかったのが胸を撫で下ろした次第である。

さて今回の学校のプログラムは以下のとおりであった。

8月29日(土)

- 15:00～17:00 講義1: 谷垣実氏（京大原子炉）「KURAMAの開発と展開の現状」
- 17:15～17:35 話題提供1: 佐藤志彦氏（筑波大学）「土壌中の銀とアンチモンについて」
- 17:35～17:55 話題提供2: 稲垣 誠氏（大阪大学）「RCNP-MuSICにおけるミュオンビーム利用実験」
- 20:20～20:40 話題提供3: 永目諭一郎氏（原子力機構）「TAN15について」、佐藤哲也氏（原子力機構）「Lrのイオン化ポテンシャルについて」

- 20:40～21:00 話題提供4: 浅井雅人氏（原子力機構）「超重元素ビームを用いた新しい超重元素化学研究」

8月30日(日)

- 09:00～10:00 講義2: 柴 和弘氏（金沢大学）「脳神経機能疾患とin vivo分子イメージング」
- 10:15～11:45 講義3: 米徳大輔氏（金沢大学）「超小型衛星プロジェクトにおける高放射線場の測定装置開発」
- 13:30～ エクスカーション

8月31日(月)

- 09:00～10:00 講義4: 長谷部徳子氏（金沢大学）「地質学における核分裂飛跡・アルファ反跳飛跡の利用」
- 10:10～11:10 講義5: 山本政儀氏（金沢大学）「放射能と歩んだ40年 - 低レベル放射能実験施設と共に」
- 11:20～11:50 話題提供5: 馬場 宏氏（大阪大学）「内部被曝で出会うもろもろの問題 - 4次元防護対策の提言」

プログラムは核化学の話題と興味ある学際的な話題を取り混ぜて企画し、これらのバランスが難しいが、新しい話題の提供と活発な分野の現状紹介を意図した。講義1は、京大原子炉の谷垣先生が開発され、福島原発事故による汚染モニタリングに大変活躍しているKURAMAというシステムについての紹介であった。これは車上で、バイクで、路線バスで、人が背負ってでも計測できるという利便性を誇っているという話が印象に残った。講義2は薬学系の柴先生の、RIを利用したイメージングの話で、腫瘍の位置といった静的な測定から一歩進んで、脳の機能をイメージングで計測するという視点が新しく、興味深く拝聴した。講義3は宇宙物理学の米徳先生に主な研究

対象とされている宇宙のガンマ線バーストの現象について解説頂き、それを計測するために人工衛星に載せる放射線計測器について説明いただいた。講義4は地球科学の長谷部先生に、核分裂飛跡（フィッシュトラック）による年代測定について、解説とともに近年の研究を紹介いただいた。講義5は、今年の春に停年を迎えられた山本先生（元金沢大学低レベル放射能実験施設・施設長）に、これまでの研究の歴史を紹介いただき、またご自分の研究生活を振り返って若い人へのメッセージとして「不笑不足以為道」（笑われざれば以て道と為すに足らず）という老子の言葉を紹介され、他人に惑わされずに自分を貫く大切さを強調された。

また、話題提供では、今年5月に福島県裏磐梯で開催されたTAN15という超重元素の化学と物理の国際学会について永目氏に紹介頂き、併せてそこで大きな注目を引いた「Lr（ローレンシウム）のイオン化ポテンシャル測定」について研究の中心を担った佐藤氏から研究紹介があった。この仕事はNatureに掲載され、また同誌の表紙を飾ったことでもそのインパクトの大きさを窺える。最後の話題提供は馬場先生による内部被ばく評価についての提言で、これまであまり注目されて来なかった時間軸を入れた被ばく計算の方法について自ら式を作って計算した結果とともに市民の納得を得られる方法について解説された。

なお、エクスカッションは和倉温泉街の中でスイーツめぐり、七福神参りなどの散策か、車で能登島に渡ってのとじま水族館、能登島ガラス美術館の見学、さらには能登ドライブなどに分かれて、各自能登を楽しんだ。この日は朝から雨でお天気に恵まれなかったが、午後からは雨も上がってきたので、ある程度は美しい能登の海の風景を味わっていただけたと思う。今年の夏の学校は、学校の初期から参加されている、今回話題提供戴いた馬場先生を始め、追手門大学名誉教授の藤原一郎先生、名古屋大学名誉教授の古川路明先生、金沢大学名誉教授の坂本浩先生にも参加頂いたのは大変光栄に思います。特

に2日目の夜に行われた懇親会では、超重元素について日本の草分け的な研究をされた藤原先生に、日本における今日の超重元素研究の隆盛についての感慨を述べて頂き、我々としてはここに揚げた核化学の初期メンバーら先人の苦勞のお蔭を被っている事に改めて思いを馳せさせられた。

夏の学校の集合写真と講義風景を下に掲載したが、そのほかの写真は金沢大学放射化学研究室のホームページのアルバム欄にあるので、興味のある方はご覧下さい。



写真1 夏の学校集合写真



写真2 夏の学校講義風景

最後に、次回の開催地は徳島大学の阪間稔先生にお願いすることが決定されたことを報告する。これはすでにご本人にも了承が得られている。また、幹事校より今回の夏の学校に参加戴いたすべての参加者に御礼申し上げたい。

会議報告

2015 放射化学会年会・第59回放射化学討論会 実施報告

実行委員長 関根 勉 (東北大)

1. はじめに

標記年会を、平成27年9月25日(金)～27日(日)の間、東北大学川内北キャンパスで開催いたしましたので、実行委員会を代表してご報告申し上げます。

仙台地区における放射化学討論会は、第7回(1963年)、第18回(1974年)、第30回(1986年)、第42回(1998年)に開催されており、今回は17年ぶりとなりました。前回(第42回)は、その翌年10月(1999年)の日本放射化学会設立に向けての準備作業が活発に進んでいたちょうどその時期にあたり、学会設立前の最後の討論会となりました。当時は学会設立直前ということもあって、盛んに議論が行われていました。その時のやりとりや様子が少なからず頭に残っており、本年会の開催を感慨深く迎えさせていただきました。この準備作業をとおして、年会のあり方や位置づけなどをもう一度見詰め、今後のあり方や方向性について何らかの提案・呈示ができないかと強く意識しました。以下には、実施報告としての事実記載に加え、本年会で行った改革についても記します。会員の皆様からの忌憚のないご意見やご批判をいただき、明日の放射化学会や年会開催のために一助として役立てていただければと思う次第です。

2. 日程と会場について

本開催場所(東北大学川内北キャンパス)を選定した時点で、開催時期は選択の余地がなくなっていました。本キャンパスは数千人規模の東北大生が講義を受ける場所となっているため、そのキャパシティを見込んで多くの学会や催物の開催を引き受けています。平成27年9月は大小の規模の種々の学会や催物の開催のためにほぼ満杯状態であり、無理やり9月末に押し込ませてもらったというのが本当のところですが、本会に参加された方は気づかれたと思いますが、隣の建物や

別の階で入れ替わり立ち替わり他の学会や催物が並列で開かれておりました。他の関連学会の予定を配慮した調整などは行うことができなくなり、皆様にご迷惑をおかけしてしまいました。また、本会は東日本大震災・福島原発事故の後に東北地区で開催される年会であったので、その復興の様子などを間近に感じることができる他の場所も開催地として検討しましたが、まだ宿泊キャパシティが準備できないなど、開催が容易ではないことを実感し、断念いたしました。

9月半ばには、この時期としては珍しい長さとなった5連休があり、この間、仙台近郊では「嵐」という人気グループの復興支援コンサート等の催物が連日開かれました。その人気の高さは尋常ではなく、仙台だけに止まらず近郊の宿泊施設も予約で満杯になってしまう事態となり、この間の宿泊が手配できずに開催を断念する学会まで出現したのは驚かされました。本年会はその連休後の開催でしたので、大きな“嵐”が吹き荒れる驚異からは何とか逃れた感がありました。

3. 本年会の概要

前回の名古屋における年会概要について、緒方先生(名大)、小田先生(名大)、西本先生(愛知大)より種々の情報をいただきました。その方針を引き継ぐとともに、先生方からのご意見を参考とし、以下の点に配慮して準備を進めることとしました。(1)放射化学は学際的な性格をもつので学会で取り扱う対象範囲を幅広く設け、種々の分野の報告に触れることができるようにすること、(2)共催学会を増やして参加者層を広げるように配慮すること、(3)放射化学会年会としての学会開催のマニュアル化を意識すること、です。

(1)の発表募集対象分野は前回のコンセプトをそのまま引き継ぎ、1.放射化分析、2.核化学、3.環境放射能、4.同位体科学、5.原子核プローブ、6.ア

クチノイド、7. 核エネルギー・バックエンド化学、8. 医学・薬学・生物学における RI 利用、9. 宇宙・地球化学、10. 福島事故関連、11. その他関連分野と幅広く設定しました。

(2) は参加者数の増加に配慮したもので、共催となる学会に所属する者の参加費を本会会員と同等にしました。放射化学会会員への配慮および会員数の増強という観点からは問題視されると思いますが、逆に共催学会の会員として参加された方に放射化学会を意識してもらうとともに、異なる分野の研究者との新たな出会いとそれに伴う新研究の創出も期待しました。さらに、共催を依頼された学会側からしても、その許諾にあたってはこの条件は受け入れ安いものであろうと思います。

(3) についてですが、現在は学会主導（理事会主導）で年会開催等の調整を行っています。ただし、今までの開催状況を見ると、学会設立以前の討論会についてその概要をほぼ理解している代表者が、現地実行委員会の工夫やアイデアを加えて行っていたものがほとんどではないかと想像します。若い代表者に引き継いだり、新たな交流を求めるための新開催地の検討など、その継承や発展性に配慮するためには基本的な開催マニュアルがないのは不利であろうと思っていました。幸いにも、鈴木先生（長岡技大）が理事会と実行委員会の仲立ちをして下さったと共に、学会開催に関わる豊富な資料を、前回および今回の年会のために提供して下さいました。また緒方先生（名大）は書式を含めてわかりやすくまとめて下さいました。今後、これを基にして改訂するなど、検討していくことができると思います。

3-1. 発表件数、参加者数など

本年会の参加者総数は 215 名で、その内訳は一般 164 名、学生 95 名でした。また発表件数は、口頭発表 59 件、ポスター発表 64 件、特別講演 1 件、学会賞受賞講演 1 件で、合計 125 件でした。今までの年会・討論会の発表件数は 100 件～150 件程度であり、平均的な発表件数であると言えます。分野の内訳では、やはり福島事故関連を含む環境放射能に関する研究発表が最も多く 51 件で、核化学 19 件、医薬生物における RI 利用 13 件、原

子核プローブ 8 件、アクチノイドおよびバックエンド関係 7 件、宇宙地球化学 5 件、放射化分析 4 件、その他 16 件でした。

今回、ポスター発表では発表番号の偶奇により説明責任時間を分けることとしました（それぞれほぼ 1 時間ずつ）。これは、ポスター発表者が他のポスター発表を閲覧し参加する時間を設けたり、発表時間を短めに設定することで議論を集中させ活発なやりとりが行われることを期待したもので、種々の学会でよく見られるやり方です。

また、研究発表だけではなく、企業展示を行う会社によるショートプレゼンテーションを特別講演会場で設けましたが、これは年会を支援する企業の宣伝効果を高めることに加え、年会への積極的な企業参加を促すことを意図しました。

懇親会の参加者数は 148 名でしたが、このうちの 40 名が学生参加者で占められておりました。参加費を低くおさえたことで参加しやすくなったためと推測しています。結果的には若い方が多かったため、人数以上ににぎやかに感じられました。

3-2. 学会賞受賞講演、特別講演

日本放射化学会学会賞は「人工放射性核種の超高感度同位体質量分析法開発および環境動態解析に関する研究」の功績により、鄭建（つん じえん）氏（独立行政法人放射線医学総合研究所放射線防護研究センター）に授与され、本年会において受賞講演を行っていただきました。環境試料中の人工放射性核種の同位体分析のための高精度質量分析法開発の研究を精力的に進め、この分析法を用いて環境地球化学、特に汚染源同定と人工放射性核種の環境挙動について重要な成果を上げてこられたことに対して授与されたものです。たとえば本手法によると、Pu-241 や Cs-135 などの同位体の定量も高感度に行うことができ、他の同位体比（プルトニウムであれば $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 比）との比較が可能となったため、放出源の特定や環境中における核種の移動の評価がより詳細に行えるようになりました。

特別講演は、福本学氏（東北大学加齢医学研究所）に「福島原発事故被災動物の包括的線量評価事業の立ち上げと現況」と題してお願いしまし

た。原発事故によって飛散した放射性物質による長期被ばくのヒトへの影響を知ることを目的とし、東北大学の震災復興プロジェクトの一つとしてこの事業が立ち上がりました。福本氏はその代表者として精力的に活動されています。福島原発事故によって設定された旧警戒区域（半径20km圏）内外の家畜（ウシやブタなど）とニホンザルについてアーカイブを構築し、放射性核種の同定と計測、環境放射線のモニタリングから動物個体と臓器別の線量評価を行い、生物学的変化を検討するものです。現在までのところ、ウシについては放射性セシウムの血中・臓器における濃度の関連が明らかになったほか、ウシの精子形成や精巣への影響が確認されなかったこと等も報告されました。また、汚染された稲わらをウシに給与する試験も行い、放射性セシウムの動態解析も行っています。福本氏は、放射線影響学会の理事長、会長の重職も務められており、放射線影響の理解に関する意気込みの強さは並々ならぬものがあります。講演を通じてその揺るぎない姿勢が示され、聴衆に熱く伝わってきたと思います。

3-3. 若手発表賞

本年会においても前回と同様に若手発表賞を設けました。発表申請時にエントリー登録してもらうようにしたところ、44件という多数の応募がありました。特別講演等を除く発表件数が123件ですから、そのうちの4割近くが候補になるということになります。若手の発表者が多いということは嬉しいことでした。が、その件数の多さから審査をお願いした諸先生方にはご苦勞をおかけしました。

以下の6件（順不同）が若手発表賞として選考されました。

- ・佐藤志彦氏（筑波大院数理物質）
「福島第一原発事故で放出した放射性粒子の発生源による違い」
- ・小荒井一真氏（東北大院理）
「ウシの歯のSr-90とCs-137濃度を指標とした環境中の時間変化の解析」
- ・佐藤大輔氏（新潟大院自然）
「105番元素Dbの化学実験のためのAliquat 336樹脂を用いたNb, Taのフッ化水素酸中か

らの固液抽出」

- ・亀澤明憲氏（筑波大院数理）
「MA/Ln分離におけるmono-triazinyl-phenanthroline系抽出剤の合成とそのLn元素に対する性能評価」
- ・添盛晃久氏（東大院総合）
「東京湾と千葉県都市河川の底質における福島第一原発事故由来の放射性セシウムの鉛直分布」
- ・佐野陽祐氏（東北大院理）
「陽電子消滅時刻運動量同時測定法によるArガス中でのPs熱化過程」

結果的にではありましたが、福島原発関連を含む環境放射能分野が3件、重元素化学1件、アクチノイド関係1件、原子核プローブ関連1件となりました。受賞者全員がフレッシュな学生会員であり、今後のさらなる活躍を期待して会場から盛大な拍手が惜しみなく送られました。今後の発展をお祈りします。

3-4. 分科会

分科会は例年のとおり、核化学分科会、放射化学分析分科会、原子核プローブ分科会、および若手の会を開催しました。それぞれの分科会の主な内容を抜粋し、以下に記します。

- ・ α 放射体・環境放射能分科会（世話人：齊藤敬氏（尚絅学院大））

依頼講演 講師：田副博文氏（弘前大学 被ばく医療総合研究所）

講演題目：「DGAレジンをういたイットリウム迅速分離によるストロンチウム90の定量—海水、土壌、生物試料への適用—」

- ・原子核プローブ分科会（世話人：岡壽崇氏（東北大高教機構））

- (1) 依頼講演1 講師：酒見泰寛氏（東北大学）
講演題目：「レーザー冷却RIによる原子核物理研究」
- (2) 依頼講演2 講師：岩井岳夫氏（山形大学）
講演題目：「山形大学医学部における重粒子線がん治療施設設置プロジェクト」

・核化学分科会（世話人：菊永英寿氏（東北大光電子理学研））

(1) 依頼講演

・講師：岩村康弘氏

講演題目：「凝縮系核反応の研究状況と今後—ナノ構造金属において観測される新しい元素変換現象を中心に—」

(2) 研究会等報告

- ・核化学夏の学校 横山明彦氏（金沢大）
- ・TAN15 浅井雅人氏（原子力機構）
- ・MARC X 高宮幸一氏（京大炉）
- ・HAWAII2014 笠松良崇氏（大阪大）

・若手の会（世話人：小森有希子氏（理研））

(1) 若手の会主催者あいさつ

(2) 各研究室の代表者による研究室紹介（口頭で3分程度、7-8研究室）

(3) 依頼講演

講師：浅井志保氏（原子力機構原子力基礎工学研究センター分析化学研究グループ）

講演題目：「使用済み燃料中に含まれる長寿命核種の質量分析」

(4) 次年度の担当者決定と承諾、その他連絡

4. 本年会の特徴

本年会では形式的にもいくつか新しい試みを行ったので記します。まず口頭発表時間を短縮化し、円滑な運営を目指しました。通常年会・討論会においては、15分発表+5分討議のスタイルがずっと守られてきましたが、これを12分発表+3分討議としました。短めの発表時間を設定することにより、その趣旨の明確化を求めたものです。質問も精選された内容となることを期待され、効率的な討議が行われることを期待しました。また、本年会の会場を使用できる日程が極めて制限されていた状況下、効率的でコンパクトな運用をせざるを得なかったことも大きな理由です。ただし、どの会場でも熱心な討議が行われていることを散見し、参加者の熱心さにあらためて感心した次第です。

従来の要旨集の印刷をやめ、年会ホームページからpdf文書として参加者にダウンロードしてもらうシステムを導入したことは新しい試みで

す。これにはいくつかの理由があります。まず第一に経費節減です。学会運営において年会補助金の支出は無視できないものであり、これを低減化することにより運営の幅が広がり、余力を得てプラスになるであろうと考えました。二番目にはICT技術の利用とその汎用化の現況の理解に基づくものです。そもそも放射化学会の設立準備委員会（約17年前）においても要旨集のpdf化の議論はすでになされており、当時から電子化されたファイルの利用は広まりつつありました。近年では、種々の国内外の学会においても電子化の工夫がなされていることを学会員はすでに経験しているため、もはや受け入れてもらえる体制は十分に整っていると現況を判断した次第です。三番目は、要旨集の配付手続きの簡素化です。初期の会則ではこの要旨集を学会員全員に配付することを約束してその決意を示しました。実際に試行を重ねてみると、継続的な会員名簿の維持管理が難しいため、せっかく郵送した要旨集が宛名不明で戻ってきてしまう事態に直面してしまっていると理解しています。これを泣く泣く繰り返していましたが、さすがに最近は希望者のみに配付するというスタイルに戻っていたと思います。発表要旨のシンプルなpdf化と、会員の協力によるダウンロードにより、この問題が解決します。ただし、学会会場に来られた参加者にはプログラムを印刷物として配布し、会場や講演タイトルなどの情報を一覧できるようにいたしました。メリット・デメリットの検討もふまえた今後の方針については、学会員の皆様のご意見に配慮した理事会のご判断に託したいと思います。

最後に記しておきたいことは若手発表賞の審査についてです。今回は、他の学会で行われている同様な審査例も参考とし、審査項目を3つに分けて厳格化しました。これは発表賞選考の手続きを厳正にして、受賞者の栄誉をより高めていきたいと考えたからです。そのキーワードは1.発表内容、2.プレゼンテーション、3.質疑応答です。発表内容については言わずもがなですが、昨今はそれを聴衆にわかりやすく伝えるプレゼンテーションも重要視されており、大学などの高等教育機関においても授業の中に取り入れる重要な項目として位置づけるようになりました。また、発表

者の実力やその研究への取り組み姿勢が如実に現れる(3) 質疑応答のやりとりの重要さも評価対象としてご理解いただけるのではないかと思います。これらの合計点を評価いたしました。一つの発表に関わる審査員は3名とし、少なくとも1名は発表内容に深く関わる分野の方を含むように配慮しました。

5. 最後に —反省と御礼—

最後に反省等を記しますが、次回以降への参考にしていただければ幸いです。

前述したように要旨集のpdf化については今回が初めての試みであったにも関わらず、会員や参加者の方々に理解していただけるための広報期間が十分ではなく、短かったことが反省点としてあげられます。会員・参加者の方々にとっては、年会直前における一方的な通告を受け取ったことになってしまいました。また、手元にある要旨集を見ながら会場を廻ったり、該当する発表要旨のページにメモを残したりするといった習慣がなくなる違和感を持つ参加者も少なからずおられたのではないかと思います。参加者、会員の皆様の寛容におすがりした次第です。

若手賞の審査体制構築について若干反省をいたしました。審査対象件数が多くなったことは年会としては大変喜ばしかったと思っており、若手の方々には積極的なアピールをしていただくように今後も応援したいと基本的に思います。本年会では審査の厳格化をめざして1件あたり3名の審査体制を組んだため、多くの審査員を選定してお願いしなければならなくなりました。限られた参加人数のもと、年会直前までに審査体制全体を築き上げるのはなかなか大変でしたが、理事関係者を含め、多数の先生方には個別の依頼メールに対応していただき、快く審査に加わっていただきました。ご都合を調整しながら担当していただいた先生も少なからずおられました。この場を借りて御礼を申し上げたいと思います。若手の受賞者達が皆様の前に並び、その緊張した面持ちで祝福を受けた姿を見たとき、審査員の先生方への感謝を思うと共に、その準備・手配の苦勞が吹き飛ばされました。

また、運営上のことですが、プログラムの企画

と編成にあたり、理事会との情報共有が重要でした。先に説明したとおり本年会の開催日程がかなり限られ、使用する会場にも制限が加えられた状況となったため、コンパクトなプログラムを組まざるを得なくなりました。今回の特有の事情はともかく、いずれにしろ理事会と実行委員会の連携は重要です。特に学会賞関連ではその受賞者数によりプログラムや会場準備に影響がでることを意識しておかなければなりません。鈴木先生(長岡技大)には実行委員会メンバーとして名を連ねていただき、尽力していただきました。

放射化学会会長の中西先生(東大)は、外国出張のうちに怪我をされ、帰国後も病院で治療を受けておられました。メール連絡にて準備状況などの情報交換をしていました。年会直前まで学会参加の意思を示されていましたが、症状回復のため断念された次第です。お気持ちは十分にくみ取らせていただきましたが、やはり健康回復が第一です。それに代わってというわけではないのですが、中原弘道先生、工藤博司先生、坂本浩先生、柴田誠一先生、永目諭一郎先生などなどの歴代の会長・副会長の諸先生方にご参加いただき、会を盛り上げていただきました。

次回の記念すべき第60回討論会は、工藤久昭先生のもと、新潟大学において開催されることになりました。懇親会の場においては、「おいしいお酒をふんだんにご用意します!」との力強いご挨拶をいただきました。

最後に、参加者の皆様、本年会を支援して下さった様々な機関や多数の企業の方々に深く御礼申し上げます。手前味噌ではありますが、本年会を実質的に支えてくれた事務局、中心となって活躍していただいた実行委員会メンバーには深い感謝を表して実施報告を閉じさせていただきたいと思えます。

実行委員会メンバー(敬称略)

関根 勉(東北大)

福島美智子(石巻専修大)

齋藤 敬(尚絅学院大)

菊永 英寿(東北大)

桐島 陽(東北大)

山村 朝雄(東北大)

佐藤 修彰 (東北大)
新堀 雄一 (東北大)
千田 太詩 (東北大)
長田 直之 (岡山大)
鈴木 達也 (長岡技大)
緒方 良至 (名大)
木野 康志 (東北大) (事務局)
岡 壽崇 (東北大) (事務局)

会議報告

大阪大学 医・理・核物連携 「新規医療イノベーションのためのシンポジウム 2015」 （『医理連携による進行がん治療のための国際医療拠点形成事業』 キックオフシンポジウム）

篠原 厚（大阪大学大学院理学研究科）

一昨年を引き続き、平成 27 年 10 月 21 日（於千里阪急ホテル）に表記「新規医療イノベーションのためのシンポジウム 2015」が開催された。今回は、大阪大学の概算要求事業「医理連携による進行がん治療のための国際医療拠点形成事業」のキックオフシンポジウムとして開催された。本稿では、シンポジウムの意図と概要を報告し、「アルファ線内用療法」を実現するために、大阪大学の枠を超えた他機関・企業との全日本的な連携

の必要性を訴える機会としたい。講演内容については、ホームページ（URL= <http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/~medsci/MedSci-Sympo2015/index.html>）が現在も公開されており、多くの講演については発表資料も公開されているので、そのサイトを参照されたい。

シンポジウムは、式次第（図 1）で分かるように 3 部構成となっており、第 1 部のキックオフセレモニー、第 2 部の講演会、そして第 3 部の意見

大阪大学 医・理・核物連携 新規医療イノベーションのためのシンポジウム 2015		新規医療イノベーションのためのシンポジウム 2015 (概算要求プロジェクト「医理連携による進行がん治療のための国際医療拠点形成事業」)	
概算要求プロジェクト 「医理連携による進行がん治療のための国際医療拠点形成事業」 キックオフシンポジウム		講演会プログラム 10月21日 (水)	
次 第			
日時：平成27年10月21日（水）10:20～19:00 場所：千里阪急ホテル 仙寿の間		11:00-12:30 Part-1 （医理核物連携プロジェクトについて）	
一、Kick-Off Ceremony（10:20～11:00）		・医理核物連携プロジェクトの概要説明 深瀬 浩一 大阪大学大学院理学研究科	
開会の辞：大阪大学大学院理学研究科長 常深 博		・H27年度の進捗状況の紹介、連携拠点の設置について ・がん治療-医療現場からの要請 堀澤 順 大阪大学大学院医学系研究科	
祝 辞：文部科学省研究振興局学術機関課課長補佐 岡本 和久		12:30-13:45 ランチブレイク	
大阪大学総長 西尾 章治郎		Part-2 （プロジェクト関連講演）	
大阪大学理事・副学長 八木 康史		13:45-14:45 1. 加速器、RI製造関連	
大阪大学大学院医学系研究科長 澤 芳樹		「サイクロトロンとRI製造技術の開発状況」 日朝 俊一 住友重機械工業株式会社	
一、講演会（11:00～17:00）		「電子線形加速器を用いた光核反応によるRI製造」 菊永 英寿 東北大学 電子光理学研究センター	
Part 1 特別研究経費・医理核物連携プロジェクトについて		「RI製造、オンライン化学実験技術」 豊嶋 厚史 原子力研究開発機構 先端基礎研究センター	
Part 2 プロジェクト関連講演		14:45-15:05 コーヒーブレイク	
Part 3 他機関との連携・他機関での取り組み		15:05-16:30 2. ターゲティング分子合成、がん治療関連	
一、意見交換会（17:30～19:00）		「新しいがんターゲットングのための分子システム」 片山 佳樹 九州大学 工学研究院	
司会：中野 貴志		「放射性医薬品の標的臓器への集積」 木村 寛之 京都薬科大学 代謝分析学分野	
挨拶：大阪大学核物理学研究センター長 中野 貴志		「難治性腫瘍に対する新規がん免疫療法の医師主導治療と C-11 methionine PETの有用性」 李 千萬 大阪大学医学部附属病院 呼吸器外科 未来医療開発部	
祝 辞：国立がん研究センター理事長 堀田 知光		「甲状腺内用療法の実状と問題点について」 高野 徹 大阪大学大学院医学系研究科 内分泌・代謝内科学講座	
大阪大学理事・副学長 小川 哲生		16:30-17:00 Part-3 （他機関との連携・他機関での取り組み、総合討論）	
		・理研-阪大の連携について 延興 秀人 理化学研究所 仁科加速器研究センター	
		・東大での理工医連携の取り組み 下浦 享 東京大学原子核科学研究センター	
		・総合討論	

図 1. シンポジウムの式次第と講演プログラム

交換会からなっていた。このキックオフシンポジウムの意図は、プロジェクト内容の科学的討論ももちろんであるが、今回はそれにも増して、学内外へのプロジェクトの広報、特に阪大内のプレゼンスの強化、他機関との連携の検討の場の提供、関係する多くのメンバーの交流を主眼とした。そのために、セレモニーでは、文部科学省から担当官をお招きし、就任したばかりの阪大の新総長の西尾章治郎先生からもご挨拶を頂き、また、意見交換会では癌研究に関しては日本の中核である国立がん研究センター理事長の堀田知光先生にもお出まし頂くなど、少し仰々しいものとなった。ただ、文科省や総長が出席と言うこともあってか、他機関や関連企業からも多く参加があり、最終的に160名を超える参加者となる盛況ぶりで、当該テーマへの関心の高さが伺えた。セレモニーでは、それぞれのお立場から、プロジェクトに対する期待と激励のお言葉を頂き、キックオフにふさわしいスタートとなり、活発な議論・意見交換が行われた。セレモニー終了後に撮った集合写真を図2に載せる。

第1部のセレモニーでは、文部科学省研究振興局学術機関課の岡本課長補佐からは、「大型加速器と国内唯一のGMPレベルの放射線医薬品臨床施設を学内に有する大阪大学の強みを生かし、異なる学問領域の研究者がお互いの垣根を越えて協力することで、進行がん治療のための『アルファ線内用療法』の開発を目指すものであり、早期の実用化が期待されている。また、本事業が、大阪大学の持つ強み特色を更に強化・発展させるとともに、進行がん治療のための国際医療拠点が形成され、我が国の研究力の向上に寄与されることを期待している。」と言う激励のご挨拶を頂いた。また、西尾総長からも、「本事業はきわめて社会的インパクトが大きく、大阪大学のビジョン実現に向けた5つの戦略の1つとして『学内の多様性を強みとした異分野融合による新たな学術領域の創造と学術研究の推進』という研究戦略に合致する重点的取組の一つである。また、『医理連携』というのは、おそらく今までに無かった新しい組合せであり、これを契機に、理学の基礎的研究と基礎医学・臨床分野との新しい連携や学問領域の形成が行われ、さらに、全く新しい未来医療が開

拓されるものと期待している。」との将来への期待も込めたお言葉を頂いた。

第2部の講演会は3つのパートからなっており、パート-1ではプロジェクトの内容紹介と研究や組織構築の進捗状況の説明があった。また、医学系研究科の畑澤先生からは、がん治療の医療現場からの要請・課題についてトークがあり、本プロジェクトの必要性が説得力を持って示された。パート-2はプロジェクトの内容に関連する学内外の関係者からの専門的な発表であった。この中で、加速器・RI製造関連として、放射化学会メンバーの菊永英寿氏（東北大電子光セ）により、荷電粒子による製造とは異なる光核反応によるRI製造の特徴と利点が述べられ、豊嶋厚史氏（JAEA）からは、超重元素研究で培ったオンライン製造技術の利用と気相化学分離によるアスタチンの製造法の新しい提案がなされた。後半は、ターゲット分子合成やその臓器への集積機構、具体的な目的の一つである甲状腺がん治療の課題などについてそれぞれの専門の立場からの発表があった。パート-3では、理化学研究所の仁科加速器研究センターの延與センター長から阪大と理研の連携の可能性について、東大・原子核科学研究センターの下浦先生から、東大の理工医農連携の取り組みについて紹介があり、全日本的な観点から加速器のRI製造を切り口とした連携体制について討論された。

最後の第3部の意見交換会では、核物理研究センターの中野センター長の進行の下、国立がん研究センターの堀田理事長の本事業への期待を込めたご挨拶に始まり、他機関、企業も含めた活発な意見交換と幅広い関係者との交流が行われた。最後に、医学系研究科の前研究科長である金田先生から、本プロジェクトは真に実現させるべきものであり、そのためには多くの困難があることを認識すべきであるとの、身の引き締まるお言葉を頂いた。それを受け、私から、なかなか閉めにくい締めのお言葉をさせて頂き、閉会となった。

本シンポジウムには、本稿をお読みになる放射化学会メンバーにも多く参加頂きました。お陰様で成功裏に終わられましたことに感謝したいと思います。また、前回のシンポジウム報告で予感していたように、(おそらく)これを一つの引き金に

して、複数の施設や機関で類似の計画が持ち上がっているようです。本シンポジウム、そして本プロジェクトが、加速器の医学利用に新しい方向

を加え、放射化学を含め関連分野の活性化に繋がることを期待しています。



図2. キックオフセレモニーの集合写真

会議報告

第10回高崎量子応用研究シンポジウムの報告

山崎翔太（日本原子力研究開発機構 高崎量子応用研究所 放射線高度利用施設部）

2015年10月8、9日に、日本原子力研究開発機構（原子力機構）原子力科学研究部門 高崎量子応用研究所（高崎研）が主催する『第10回 高崎量子応用研究シンポジウム－暮らしに役立つ量子ビーム－』が高崎研内の総合管理棟・多目的ホールにおいて開催された。総合管理棟は昨年度末に竣工したばかりであり、本シンポジウムが高崎研で開催されるのは初めてである。日本原子力研究開発機構田島保英理事の開会挨拶及び文部科学省科学技術・学術政策局研究開発基盤課上田光幸量子放射線研究推進室長の来賓挨拶の後、高崎研の照射施設・装置を用いて得られた最近の研究成果が、口頭及びポスターにより2日間にわたって発表された。

1日目の特別講演では、東京大学上坂教授から、医療・産業社会インフラの応用を目的とした小型加速器の開発及び実用に関するこれまでの成果が発表された。可搬型電子加速器X線発生装置による配管内、橋梁の非破壊検査など、加速器利用の新たな可能性が示された。2日目の特別セッションでは、高崎研のイオン照射研究施設及び電子・ガンマ線照射施設を原子力機構以外の研究者等が利用するための施設用制度の概要と制度の一つである文科省の補助事業「先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業」（共用プラットフォーム）は、専任の技術支援員による支援が受けられることが紹介された。続いて3人の技術支援員が、花卉などの品種改良を目的としたイオンビーム育種、軽イオンマイクロビームを用いてミクロな領域の元素分布が得られるPIXE/PIGE分析及び材料改質や耐放射線性評価等に利用される電子・ガンマ線における技術支援の成果の詳細を報告した。特に、イオンビーム育種は農業従事者などのこれまでイオンビームに馴染みのなかった幅広いユーザーから注目され、植物照射に関わる経験を活かした支援が重要であると感じた。その他2日間で、4つ

の口頭セッションにおいて12件の講演、2つのポスターセッションにおいて146件の発表があった。この中で、原子力施設や水素製造施設で水素ガスの漏洩や爆発を防ぐための水素吸着材は水蒸気、酸素により発火、不活性化から防護するため、水素のみを選択的に透過させる高分子多孔膜の研究発表があり、将来的に原子炉の安全性向上に繋がることを期待された。

高崎研玉田正男所長の閉会の挨拶では、来年度より原子力機構の高崎研を含む量子ビーム応用研究部門及び核融合部門と放射線医学総合研究所が統合されて量子科学技術研究開発機構に創設し、原子力ではなく放射線に特化した国内唯一の研究機構になると述べていた。

本シンポジウムの参加者は延べ481名で、昨年度の496名とほぼ同数であり、会場の変更による差は見られなかった。また、全体を通じて量子ビーム応用の研究成果、さらに施設供用で得られた技術開発の成果や支援を行う上での苦労話等を聞くことができ、参加者は、筆者と同様に有意義な時間を過ごせたと思う。

以下にプログラムを示す。

<第1日 10月8日（木）>

セッション1. 医療応用・バイオ技術

1-1 「重陽子照射で発生する高速中性子による医療用放射性同位元素の合成研究」

塚田和明（原子力機構 先端基礎研究センター）

1-2 「重粒子線がん治療効果の原因となるDNAの傷の「かたまり」を発見」

赤松 憲（原子力機構 量子ビーム応用研究センター）

1-3 「線虫の運動機能に対する放射線影響の解析」

鈴木芳代（原子力機構 量子ビーム応用研

- 究センター)
- 1-4 「PETISが植物生理学にもたらすもの」
樋口恭子 (東京農大 応用生物科学部)
- 特別講演
「小型モバイル加速器開発と医療・産業社会インフラ診断応用」
上坂 充 (東京大学大学院 工学系研究科 原子力専攻)
- セッション2. 先端材料・計測・基盤技術
- 2-1 「サイクロトロンにおける大面積均一ビーム形成技術の開発」
百合康介 (原子力機構 高崎量子応用研究所)
- 2-2 「放射線治療用三次元ポリマーゲル線量計の開発」
田口光正 (原子力機構 量子ビーム応用研究センター)
- 2-3 「イオンビーム照射で導入された原子空孔に由来する強磁性効果」
阿部浩之 (原子力機構 量子応用研究センター)
- ポスターセッションI 【医療応用・バイオ技術・先端材料・計測・基盤技術】
懇談会
- <第2日 10月9日(金)>
- セッション3. 宇宙・エネルギー
- 3-1 「磁気トンネル接合素子に対する放射線照射効果の実測評価」
小林大輔 (宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所)
- 3-2 「放射線グラフト重合法による多孔膜のナノ細孔制御:水素選択透過性隔膜への応用」
長谷川伸 (原子力機構 量子ビーム応用研究センター)
- セッション4. 環境・資源・高機能材料
- 4-1 「リン及びホウ素をイオン注入したシリコンナノ結晶の発行特性」
中村俊博 (群馬大学大学院 理工学府)
- 4-2 「硝酸イオンを高速度で選択的に吸着するアニオン交換繊維の開発」
松浦博考 (熊本大学大学院 自然科学研究科)
- 4-3 「バイオディーゼル用グラフト触媒の開発」
植木悠二 (原子力機構 量子ビーム応用研究センター)
- ポスターセッションII 【宇宙・原子力・エネルギー・環境・資源・高機能材料】
特別セッション 「高崎研の施設供用における技術支援の現場から」
- S-1 「施設供用の制度と技術支援の概要」
広田耕一 (原子力機構 高崎量子応用研究所)
- S-2 「イオンビーム育種を農業生産者・中小企業に」
野澤 樹 (原子力機構 高崎量子応用研究所)
- S-3 「イオンビーム分析の農工業への拡大」
保科宏行 (原子力機構 高崎量子応用研究所)
- S-4 「ガンマ線・電子線・イオンビームでの産業界の研究開発を後押し」
大澤広幸 (原子力機構 高崎量子応用研究所)

会議報告

第2回核医学治療国際シンポジウム

鷲山幸信 (金沢大学 医薬保健研究域 保健学系)

放射化学分野における重要な領域の一つに RI 製造とその応用がある。特に RI から放出される β 線や α 線の有効な利用法の一つが医学応用である。 β 線や α 線は物質との相互作用が他の放射線に比べて強いいため、この特徴を応用した癌治療等は既に世界各国で積極的に展開されてきた。しかしながら、日本は欧米のみならず他のアジア諸国と比べても、RI の核医学治療への展開という点では後進国であり、現時点で患者に投与できる核種は ^{131}I と ^{89}Sr , ^{90}Y のみで、医薬品としてもたったの4種のみである。近い将来 α 放射体の ^{223}Ra が前立腺癌骨転移患者に投与されることになるとしても、欧米で利用されている他の RI (^{153}Sm や ^{177}Lu) については目途すら立っていない。このような状況に対して、何とか国内でも世界に追随していこうという流れが、2015年12月19日に石川県金沢市の金沢ニューグランドホテルにて「第2回核医学治療国際シンポジウム」が開催された要因であった。このシンポジウムが開催された時期はちょうどハワイで Pacifichem 2015 が開催されているまただ中であったため、放射化学分野からの参加は少なかったが、当日は加速器や医療に関連する100名を超す人々が参加した。

このシンポジウムは同年5月に大阪で開催された第1回核医学治療国際シンポジウムに続くものであり、主催はいずれも福島県立医科大学であった。「世界にキャッチアップするには」という現状打破を目指す直球ど真ん中なタイトルを冠した第2回のシンポジウムは、一日のみのシンポジウムであったが国内外の核医学利用分野で著明な方や新進気鋭の方など総勢13名からの報告・講演で構成され、さらには Ustream を利用した Web 中継での閲覧や英語日本語双方向同時通訳付きという主催者側の意気込みが充分に感じられるものであった。

シンポジウムはタイトルを反映して下記の5つ

のセッションで構成された。

- 1) Achievement and future perspective of targeted radionuclide therapy in the world (世界はどこまできているのか・どこに向かうのか)
- 2) What's going on in Japan (国内での導入計画)
- 3) Current status and future of alpha emitters in targeted radionuclide therapy (アルファ核種の現状と将来展望)
- 4) Cooperative actions for the development of targeted radionuclide therapy in Japan (オールジャパンでの開発～日本全体の開発にどのような役割を果たすことができるかという視点で～)
- 5) Regulatory issues and statistical concerns for new projects (新規内用療法導入に際して考慮すべきこと)

中でも1)と3)のセッションでは、核医学治療分野で著名な海外の研究者4名による招待講演が設定された。

セッション1)は、海外で核医学治療を積極的に推進している2名の研究者による講演であった。ドイツの Theranostics Center for Molecular Radiotherapy and Molecular Imaging 所属の Rchard P. Baum 博士は自施設で実施した ^{177}Lu や ^{90}Y を (平均 17GBq) 投与した神経内分泌腫瘍患者1000名からなるデータベースを基に、これらの核種の持つ治療効果を紹介した。また前立腺癌の治療に関しては、癌の進行が非常に進んでいて他の治療法では治療効果が得られない程、癌の進行している患者に対しても、 ^{177}Lu を用いた治療では十分に機能することを示した。オーストラリアの Austin Hospital の Andrew M. Scott 教授は、 ^{131}I や ^{90}Y 等の RI を用いた核医学治療をペプチドや受容体、抗原と抗体などのキーワードと共に分子生物学的側面から紹介し、近年のこの分野におけるめざましい進歩を供覧した。

セッション2)では、国内のがん患者に対する核医学治療の現状と問題点が示された。横浜市立大学の高野祥子医師は、国内では ^{177}Lu や ^{90}Y を用いた核医学治療を受けることができないために、神経内分泌腫瘍の患者がわざわざスイスに移動して治療を受ける現状を報告した。金沢大学の稲木杏吏助教は国内での ^{131}I 標識ヨードベンジルグアニンジン(MIBG)を用いた神経内分泌腫瘍の治療に関する現情を報告した。

セッション3)では α 放射体を用いた核医学治療の現状が報告された。米国Duke UniversityのMichael R. Zalutsky教授は ^{211}At を用いた核医学治療が持つ問題点と有用性を自身が行ってきた実験や臨床の結果を基に説明した。 ^{211}At については、近年国内において製造できる環境が整えられつつあることから、多くの聴衆が興味を持ってこの講演を聴いていた。次いで米国Columbia UniversityのJoseph G. Jurcic教授は α 放射体の中でも臨床利用が期待されている ^{225}Ac とその娘核種 ^{213}Bi を用いた急性骨髄性白血病の臨床試験に関する報告を行った。

セッション4)は福島県立医科大学ならびに国内でRI製造の要となる3国立研究機関からRI製造に関する各施設の現状と今後の役割に関する報告があった。福島県立医科大学の織内昇教授は大学内に設置されるふくしま国際医療科学センター先端臨床研究センターとRI製造用の加速器に関する紹介を行った。特に α 粒子を30 MeVまで加速できる加速器は国内の最新型であり、氏は ^{211}At を積極的に製造し基礎および臨床研究に用いることが可能であることを強調しておられた。氏はさらに、RI製造だけでなく、基礎研究の成果をヒトの臨床試験にまで直結して進めることができるよう、PET/CT, SPECT/CT, PET/MR診断装置や放射性医薬品を高い品質で提供できるGMP設備を完備した最新鋭のセンターとして、この施設が機能していくことを説明されたが、人材育成が重要であるとの観点から、国内外に対して広く門戸を開いて多くの方との協働体制のもとに国内の核医学治療を推進していくのだという意気込みを語っておられた。放射線医学総合研究所(NIRS)の吉永恵一郎主任研究員はNIRSで製造される ^{64}Cu や ^{211}At を用いた核医学治療の研

究紹介と今後のRI製造に関する取り組みについて述べられた。群馬県高崎市の日本原子力研究開発機構量子応用研究センターの石岡典子研究主席は、イオン照射研究施設TIARAで行われているRI製造と応用の取り組みを紹介した。氏のグループは ^{64}Cu , ^{76}Br 等のPET核種のみならず、東海施設の原子炉を利用した ^{177}Lu , ^{186}Re 等の β 放射体を製造している。さらに近年は高速中性子を利用した ^{99}Mo や ^{67}Cu , α ビームを用いた ^{211}At の製造など様々な核種の製造に積極的に取り組んでいることを紹介した。一方、理化学研究所仁科加速器研究センターの奥野広樹グループリーダーは理研RIビームファクトリーでのRI製造に関するこれまでの取り組みと今後の展開を紹介した。理研はこれまでにAVFサイクロトロンを用いて ^{65}Zn , ^{109}Cd , ^{88}Y , ^{85}Sr 等を定期的に製造し、アイソトープ協会を通じて一般に提供してきた。これに加えて ^{67}Cu の製造や ^{211}At の製造も検討していることが報告された。特に ^{211}At の製造では113元素の発見にも貢献したRILACのビームを利用することで理論的には10 GBq以上の製造も可能であると報告した。

セッション5)では、国内で核医学治療を進めるにあたって考慮すべきことを議論した。近畿大学の細野眞教授は放射線防護の観点から、核医学利用時のガイドラインの制定について国内の状況や取り組みを概説された。また金沢大学の吉村健一教授は臨床試験を行うに際しての試験デザインと統計的な原則について紹介された。

このシンポジウムは、国内における核医学治療を推進するために、その要素となるRIの製造をする物理・化学の研究者と治療に携わる薬学や医学の研究者・医師等との問題意識を共有することが主であった。医師の側の印象を推測するならば、文献でしか読んだことの無い最新の治療を経験している海外の研究者からの生の情報や、国内でも十分に製造可能な治療用RIが存在するという情報の取得が収穫であったように思われた。一方、放射化学に携わる我々には、核医学に利用可能なRIには、いろいろな種類があるという再認識と、実際にRIから放出される β 線や α 線によって癌治療が行われ且つ治療効果が十分に得られるという臨床的事実を共有できたと思われる。筆者

個人としては、研究者と医師だけでなく、企業や政府関係者を含めたそれぞれの間の交流を阻む垣根が小さくなり、意見を交換しやすくなったのではないかと感じた。

冬来たりなば春遠からじ

今回のシンポジウムは冬の金沢で開催され、当日は雪こそ降らなかったものご多分に漏れず寒い一日であった。しかし会場内は外の寒さを全く

感じさせない熱い雰囲気にも包まれていた。それはさしづめ参加した誰もがRIを用いた国内での核医学治療の春を待ち望んでいる様でもあった。

最後に本報告を紹介するにあたって福島県立医科大学の本シンポジウム世話人会事務局よりシンポジウム当日の写真を提供していただいた。この場を借りて篤く御礼申し上げます。

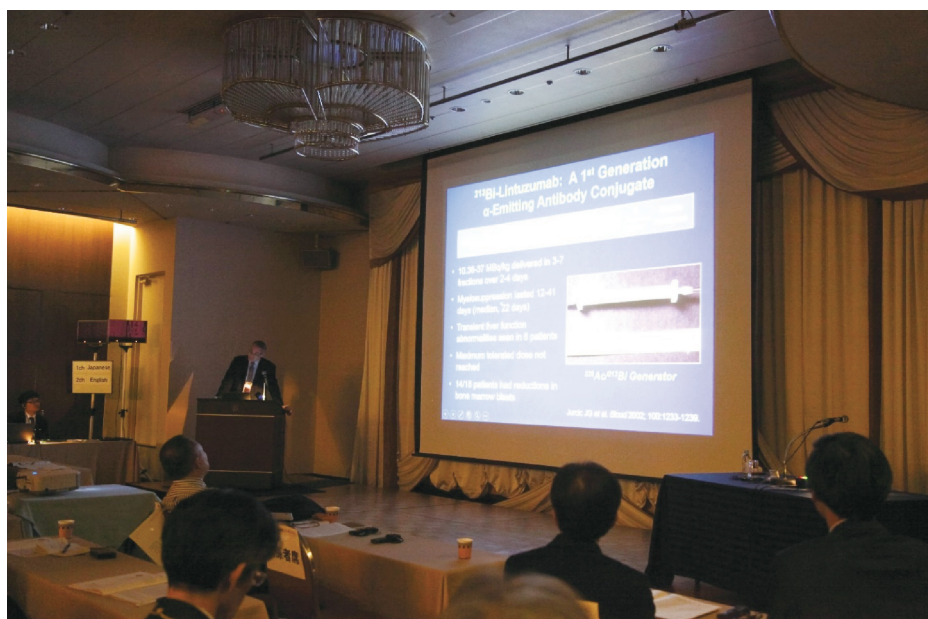


図1 講演風景



図2 講演に聴き入る聴衆

会議報告

Pacificchem2015 シンポジウム 「The Expanding Periodic Table: New Discoveries & Chemistry of the Heaviest Elements」

永目諭一郎（日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター）

2015年は、日本の超重元素研究にとって記念すべき年になった。まずは大みそかに入ってきたニュースで、113番元素の命名権が理化学研究所（理研）の森田浩介氏を中心とした研究グループに与えられるということであった。元素の周期表に初めて日本発の元素が記載されることになる。超重元素の分野だけでなく、日本の化（科）学史にとっても最大級のニュースである。また5月には、4年に一度開催されている超重元素に関する国際会議 TAN (International Conference on the Chemistry and Physics of the Transactinide Elements) を日本で開催することができた（本誌第32号）。1999年にドイツで第1回会議が開催されたが、その際日本発の実験に関する報告はまだなかった。今回は第5回目であったが、その間における日本でめざましい進歩があったからこそ開催できたといえる。

Pacificchemで超重元素に関するシンポジウムを開催するのは、2005年、2010年に続いて今回は3回目であった。オーガナイザーは、永目諭一郎 (corresponding symposium organizer)、Heino Nitsche (アメリカ、UC Berkeley/LBNL)、Qin Zhi (中国、Institute of Modern Physics)、Peter Schwerdtfeger (ニュージーランド、Massey University)、Christoph E. Düllmann (ドイツ、Johannes Gutenberg-Universität Mainz)、Andreas Türler (スイス、Bern University) の6名であった。当初は Nitsche が corresponding organizer として提案したシンポジウムであったが、彼の急逝（本誌31号）により、永目がその任を引き継いだ。シンポジウムのタイトルは、年末の新元素（113, 115, 117, 118番元素）承認のニュースを先取りするかのように、The Expanding Periodic Table: New Discoveries & Chemistry of the Heaviest

Elements であった。会場は Hilton Hawaiian Village (口頭発表、24件) と Hawaii Convention Center (ポスター、3件) で、参加者は40名ほどであった。

この分野で、最も興味を引くのは、ロシア・フレロフ核反応研究所で建設中の Superheavy Element Factory の状況である。これまでの重イオンビームの強度を約10倍に増強して加速するサイクロトロン建設とそれに付随する各種実験装置の導入で、超重元素の合成と超重核の研究および化学的研究を強力に推し進めるというプロジェクトである。この施設を利用して、超重元素研究がさらに発展していくことになるであろう。理研やドイツ・重イオン研究所 (GSI) における今後の超重元素合成の計画等も紹介された。次は119, 120番元素がターゲットである。いよいよ周期表の未踏領域、第8周期に入ることになる。

化学的研究では、気相化学的手法を用いた113, 114番元素の化学（金属表面への吸着挙動）や Sg のカルボニル錯体の合成などが紹介された。後者は、理研の仁科加速器研究センターで、国際共同実験として行われた成果であり、Science誌に掲載されている。今後は Bh, Hs などの錯体合成に挑戦していくことになる。

前回の Pacificchem 2010 では、重原子の性質に関するテーマを取り上げて、この分野の進展を期した。今回はその甲斐あってか、ローレンシウムイオン化エネルギーの測定や、ノーベリウム原子のレーザー分光に関する成果が報告され、この分野に新たな光を当てることになった。前回の Pacificchem 2010 の報告（本誌23号）をあらためて見直して見ると、次のように述べていた。「この分野の今後の進展を期して、重原子の性質を主題テーマの一つに挙げた。しかし、実験的な困難

さもあり、世界的にもまだ未着手のようである。そういうなかで原子力機構が進めている103番元素Lrのイオン化ポテンシャル(IP)測定には、シングルアトムレベルでのIP測定という意欲的なテーマであるとして大きな期待が寄せられていた。5年前に寄せられた期待が、じっさいに実をむすんだこと(本誌32号)は、私たちにとって大きな喜びであるとともに誇りでもある。次の2020年にはどんな新しいテーマが報告されるのか、楽しみである。

参考として、招待講演のプログラムを以下に示す。

A. Yakushev, GSI: Search for new elements at TASCA at GSI; **K. Morimoto**, RIKEN: Synthesis of superheavy elements at RIKEN; **G. Chubaryan**, Texas A&M Univ.: SHE factory: current status; **K. Gregorich**, LBNL: Synthesis and nuclear structure studies of heavy elements with the Berkeley Gas-filled Separator; **J. Gates**, LBNL: Toward *A* and *Z* identification of superheavy elements; **H. Haba**, RIKEN: Production and decay studies of ^{261}Rf , ^{262}Db , ^{265}Sg , and $^{266,267}\text{Bh}$ for superheavy element chemistry using GARIS at RIKEN; **J. Even**, TRIUMF: Synthesis of

seaborgium hexacarbonyl, $\text{Sg}(\text{CO})_6$; **Z. Qin**, IMP: The formation and gas phase chemistry of the transition metal carbonyl complex; **J. Li**, Tsinghua Univ.: Theoretical studies of the electronic structures of seaborgium carbonyls $\text{Sg}(\text{CO})_n$ ($n = 1 - 6$); **V. Pershina**, GSI: Recent progress in theoretical predictions of chemical properties of the heaviest elements; **A. Yakushev**, GSI: Chemistry of element 114, flerovium; **R. Eichler**, PSI: Gas phase chemical investigation of element 113 and beyond; **A. Türler**, Univ. Bern: Present status and future plans of chemical experiments with superheavy elements at PSI/UNIBE; **V. Dzuba**, Univ. New South Wales: Atomic properties of superheavy elements; **M. Block**, GSI/Mainz Univ.: Studies of the heaviest elements with SHIPTRAP; **T. K. Sato**, JAEA: First ionization energies of heaviest actinides, lawrencium and nobelium; **A. Borschevsky**, Univ. Groningen: Relativistic coupled cluster calculations of atomic properties of the heaviest elements; **A. Toyoshima**, JAEA: Electrochemistry of the heaviest elements at JAEA; **C. Folden**, Texas A&M Univ.: Heavy element research at Texas A&M University

会議報告

Pacificchem2015 シンポジウム [Isotope Production--Providing Important Materials for Research and Applications]

初川雄一（日本原子力研究開発機構）

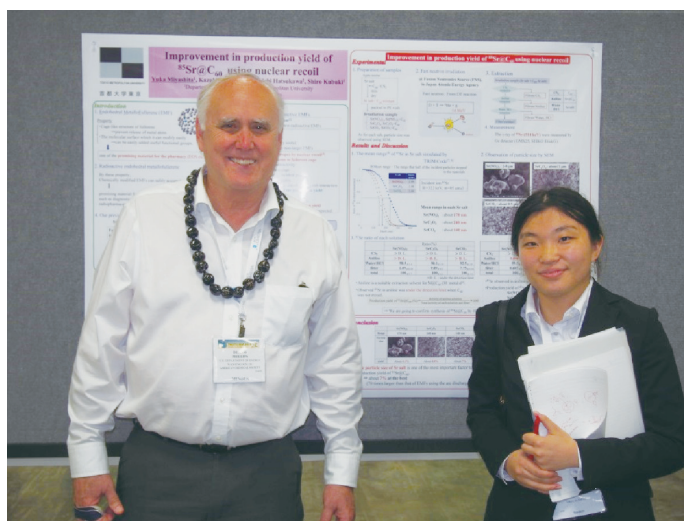
2015年12月13日から18日にわたり米国ホノルル市において開催された環太平洋国際化学会議2015（The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2015）において“Isotope Production--Providing Important Materials for Research and Applications (#363)”と題するRI生成研究に関するシンポジウムに参加した。Pacificchem2015は全体で15000人以上の参加者がありワイキキの町に各国からの化学者があふれていた。

米国エネルギー省のDennis Phillips博士が本シンポジウムのオーガナイザーを務めアメリカ、カナダ、日本の研究者を中心に50件ほどの参加があり、放射性同位体のみならず安定同位体生成に関する広範な研究発表が行われた。また上述の3ヶ国のみならずヨーロッパからの研究も2件含まれていたが、他のアジア諸国からの発表がなかったのは残念であった。アメリカからはオーガナイザーのD. Phillip博士が取りまとめているエネルギー省（DOE）のアイソトープ・プログラムに関連した研究が目立った。具体的にはOak Ridge National Lab. (ORNL), Los Alamos National Lab. (LANL), Brookhaven National Lab. (BNL)における ^{225}Ac に関する研究(2件), ^{186}Re (2件), ^{89}Zr (2件), $^{44}\text{Sc}/^{44}\text{Ti}$ ジェネレータなどの発表があった。またORNLから暫く中断していた安定同位体の製造が電磁的手法および遠心分離法により再開されるとの報告があった。2016年春にはモリブデン安定同位体の供給が試験的に行われるそうである。カナダからはCanadian Light Source (CLS)を用いた巨大共鳴を利用した ^{99}Mo の製造研究やPET用小型サイクロトロンを使った $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の製造研究が目をつけた。日本からは永井(JAEA)、篠原(阪大)、鷺山(金沢大)の3氏が招待講演者としてそれぞれの主導しておられるプ

ロジェクトについて発表された。それぞれ(n,2n)反応による ^{99}Mo 生成(永井)、大阪大学における ^{211}At や ^{99}Mo の新たな同位体生成プロジェクト(篠原)、 ^{211}At の製造法研究(鷺山)について話され、日本のRI製造研究における独自の取り組みや現状の理解に役立ったものと確信する。また加速器中性子による $^{64,67}\text{Cu}$, ^{90}Y の生成研究、超重力場を用いた同位体分離法などユニークな研究についての報告が行われた。

個人的にはスイスPSIからの核破砕反応による中性子ターゲットから有用RIを抽出するExotic Radionuclides from Accelerator waste for Science & Technologyプロジェクトにより ^{53}Mn , ^{44}Ti , ^{26}Al , ^7B , ^{10}Be , ^{60}Fe などの生成研究が興味深かった。この発表を聴きながら原子力機構にあるJ-PARCのHgターゲットにおいても同様の研究が行えないだろうかと思った。

最後にオープニングセレモニーでのSam Kean氏のLectureについて紹介する。Kean氏はNew York Timesのサイエンスライターで“The Disappearing Spoon (消えたスプーン)”の著者であり、本書に基づく元素に関する話は聴衆を引き付けるものだった。自己の幼少期の壊れた体温計から出てきた水銀に魅せられた話や100年以上前にはとても高価だったアルミニウムに関する話、G. Hevesyのノーベル賞の金メダルを第2次世界大戦中ナチドイツの侵攻により没収されるのを防ぐために王水で溶解し、戦後再びこの溶液から金を回収してスウェーデンでノーベル賞のメダルをつくりHevesyに再授与したこと、最後に106番元素に名を残す大化学者G. SeaborgについてSgの命名秘話など化学屋にとってはとても楽しめる講演だった。



シンポジウムオーガナイザーの D.Phillips 博士 (左)



オープニングセレモニーでの Sam Kean 氏の講演

会議報告

Pacificchem2015 シンポジウム [Fukushima and Radiological Contaminated Environments World-wide: The Important Role of Environmental Chemistry and Radiochemistry in Remediation and Restoration]

佐々木隆之 (京都大学大学院工学研究科原子核工学専攻)

PACIFICHEM (和名、環太平洋国際化学会議) は太平洋を取り囲む各国の化学者が米国ハワイに結集する化学界の一大イベントであり、1984年から概ね5年毎に開催されている。今回もクリスマス直前の12月15～20日に行われ、1万件を優に超える発表とその関係者でホノルルの街が埋まった(といっても過言ではない)。化学を網羅する会議であるため、有機、無機、高分子、生化学医化学関連のシンポジウムと多岐にわたるが、放射化学に関連するものも幾つか見られた(他のご報告を参照されたい)。その中で本報告では、“Fukushima and Radiological Contaminated Environments World-wide: The Important Role of Environmental Chemistry and Radiochemistry in Remediation and Restoration”なる、筆者がオーガナイザーを務めさせていただいたシンポジウムについてご紹介する。福島第一原子力発電所の事故から5年近く経ち、福島および隣県で多くの地道な除染活動が進められてきたが、技術的・経済的そして社会的な困難さもあって、環境修復・復元の完了には未だ遠い状況にある。こうした現状に鑑み、本シンポジウムでは次の3点から発表と議論がなされた。

- 1) 福島原発事故による周辺環境汚染の現状と除染活動の科学的/技術的レビュー
- 2) 他国での除染実績および関連研究の知見に基づく新たな除染法の推奨
- 3) 放射化学研究者としての我々の役割: 修復への更なる貢献

口頭発表(16件)は12月16日に行われ、JAEAのK.Iijima氏による福島原発事故の概要や除染事業に関する基調報告に始まり、北太平洋のCs-134, -137による汚染状況とその移行挙動

(Dr. M.Aoyama)、魚肉と骨中のCs-134, -137およびSr-90の濃集と標準試料調製の試み(Dr. Y.Minai)、農地におけるCs汚染の現状と修復の効果(Dr. K.Tagami)、食用茸のCs濃集挙動(Dr. T.Ohnuki)、事故で飛散した粒子状の放射性Csの状態研究(Dr. Y.Sato)など、日本で進められている様々な研究発表があり、化学状態と移行挙動との関連や実験手法の詳細について質疑がなされた。一方、海外からは米国、カナダ、ロシア、中国から発表があった。米国 Pacific Northwest National LaboratoryのDr. Sue Clarkは、放射性物質による環境影響事故(原題はradiological accidents)からの教訓というテーマで、環境中のCs-137等の挙動に関する基調報告を行った。米国では過去に起こった原発や施設の事故を経験し、その分析を行った上で環境修復技術の向上を図っていることが強調された。他にも、浸漏計を用いたフィールドでの核種移行実験や、3次元蛍光法等の分光法を用いた状態分析、グラフェン酸化物を用いた除染方法の提案など、様々な研究成果が紹介され、福島環境修復への適用性や核種移行挙動の相違点などについて、活発な意見交換がなされた。

12月18日夜にはポスターセッションが行われ、25件の成果が発表された。なお、本シンポジウムの趣旨と関連するシンポジウムである“Radioactive Contaminants and Waste Management in the Environment”(オーガナイザーはDr. W.Um、Dr. T.Ohnukiら)のポスターセッションも同時開催された。福島原発事故により森林、河川、市街地等に広域拡散した核種(Cs, Sr, IのほかU, Pu等)の分析、土壌や樹木への吸着挙動、移行モデル解釈、新たな吸着材に

よる除染方法の提案の他、計算科学による収着反応の理解などの試み、天然有機物と核種の相互作用に関する基礎的研究、原子炉冷却で生じた汚染水中の核種インベントリ予測研究など、多岐にわたる最新成果の紹介があった。学生諸氏による発表も多く、また会場では地ビールを含むドリンクやスナックの提供もあったことから、夜9時の終了時間まで活発な意見交換がなされたのが印象的だった。

本シンポジウムは前回(2010年)までの4回は、アクチノイド元素を中心とした放射化学的基礎研究に焦点が当てられ、本学会の関係者も数多く参加してきたことだろう。昨年7月に他界されたカリフォルニア大学バークレー校の故 Heino Nitsche 教授が長年その牽引役を果たされてきた

功績は大きい(吉田善行,放射化学,31(2015)p64-65)。今回は特に、環境修復に向け福島事故と向き合い我々がしてきたこと、今後なすべきことについて研究者同士がそれぞれの専門を携えて議論する意義を、Nitsche 博士は非常に強く感じておられた。筆者にその志が託されたことは忘れ得ないこととなった。本シンポジウムの協力オーガナイザーとしての L.Lao 博士(米LBL)、C.Liu 博士(中国 Peking 大)、S.Kalmykov 博士(露MGU)、Z.Yoshida 博士(株アトックス)のご助力のもと、僅か1日半の会議ではあったが有意義な意見交換がなされたと感じている。参加者それぞれが今後の更なる貢献へのヒントを持ち帰って下さっていただければ幸いである。

会議報告

Pacifichem2015 シンポジウム [Nuclear Probes in Nanoscale Characterization]

山田康洋 (東京理科大学理学部第二部化学科)

環太平洋国際化学会議 (PACIFICHEM) は5年ごとにハワイのワイキキで開催される。今回は2015年12月15日から20日の期間に行われた。このうち、“Nuclear Probes in Nanoscale Characterization”のシンポジウムは12月16日にHilton Hawaiian VillageのHibiscus 2で行われた。全体で3つのセッションに分かれていたが、1日にまとめて朝8時から夜9時まで続けて27件の発表が行なわれたため、かなり忙しく密度の高いセッションとなった。午前と午後の2つのセッションは招待講演(40分)と口頭発表(20分)であり、夕方のセッションは短い口頭発表(5分)とポスター発表の組み合わせで行われた。

メスバウアー分光法、陽電子消滅寿命、ミュオン、 γ 線摂動角相関などの原子核プローブは、特にナノスケールの物性研究の手法として有効であり、さまざまな応用分野への展開が期待される。これらの原子核プローブの開発と、機能性材料・ナノ物性研究への応用について議論することがこのシンポジウムの目的である。組織委員は高橋正(東邦大)のほか、Anita Hill (CSIRO Materials Science and Engineering, Australia), Junhu Wang (Dalian Institute of Chemical Physics, China), Virender K. Sharma (Florida Institute of Technology, USA)、野村貴美(東大)、山田康洋(東理大)である。

招待講演は、5件行われた。初めに、Matthew Hill (CSIRO) が陽電子消滅を用いた細孔計測手法を気体分子分離のためのフィルターに用いた研究について報告した。二宮和彦(阪大)は、分子へのミュオン取り込み過程とその応用について講演した。Franz Renz (Leibniz Universität Hannover) はメスバウアー分光法を用いた最近の研究例として、スピンスロスオーバー錯体・絵画の分析・火星探査などの幅広い応用に関す

る発表を行った。Vijayendra Garg (University of Brasilia) は磁性ナノ粒子を用いたドラッグデリバリーについて報告した。さらに、Paul Lindahl (Texas A&M University) は生体中でのナノ微粒子の役割について報告した(以上、敬称略)。分野ごとの講演件数は、陽電子消滅2件、ミュオン1件、摂動角相関2件、メスバウアー分光法22件であった。分野の偏りが大きいものの、関連する原子核プローブの研究として一つのシンポジウムとしてまとめて発表が行われることに意義があると考えられる。また、物性研究だけでなく、医療や生物分野にも幅広い応用があることも再認識した。

夕方の発表は当初ポスターセッションとして企画されたが、前回(2010年)と同様に今回も短い口頭発表とポスター発表を組み合わせた形式とし、発表者全員が十分な議論ができるように配慮した。飲物や軽食を取りながら、くつろいだ雰囲気の中で議論が行われ、参加者の親交を深めるよい機会となり、好評であった。

シンポジウムの議論も活発であり、特にFranz Renzは早朝から最後まで休むことなく様々な質問をして会場を盛り上げてくれた。また、今回のシンポジウムには学生が多く参加し、将来にわたってこの分野を担う若手研究者の育成にも役立ったと考える。どのような研究分野にも世代交代や研究対象の変遷はつきものであるが、原子核プローブの研究対象・応用分野はまだ無限にあり、それを担っていく若い世代も着実に育っていることを再認識した。

なお、最後になったが、メスバウアー分光研究会から約5万円の補助金をいただき、大変立派な茶菓子を用意できたことを感謝する。夕方のポスターセッション中には食べ物のほかにビールやワインが振舞われ、大いに議論が盛り上がり、和や

かな雰囲気の中で親交を深めることができた。買い物出しなどの準備や会計を一手に引き受けてくれ

た久富木志郎氏（首都大東京、メスbauer分光研究会事務局）にはこの場を借りて感謝する。



ポスターセッション終了後に大幅に予定時刻を過ぎて親交を深めていた参加者（この写真は会場を施錠しに来た警備員に撮影してもらった。この直後に解散）

会議報告

Pacificchem2015 シンポジウム「Experimental and Theoretical Actinide Chemistry: From Fundamental Systems to Practical Applications」

矢板 毅 (原子力機構 量子ビームセンター)

本セッションは、米国 LBNL の J. Gibson および筆者らの企画により開催されたセッションであり、特にアクチノイド化合物の化学結合・構造特性、気相あるいは溶液中での反応ダイナミクスなど、様々な実験的手法により明らかにされた結果および、近年標準的ツールとして使われている量子化学計算の融合によって、アクチノイド化学基礎的理論についての討論を行うことを主な目的としたセッションである。このような研究アプローチは、これまで主にアクチノイド系化合物の固体物性解明においては、当たり前に行われ来たものではあるが、アクチノイド有機錯体を中心とした化学の分野においては、ここ数年増えてきたという印象であり、これまでブラックボックスになっていた部分を明らかにされつつある。また、アクチノイド化学は、純粋な錯体結晶のマクロの物性を明らかにするという研究よりは、核燃料再処理、高レベル廃液処理、燃料化学、地層処分など出口を意識した基礎的な研究が多く、特に配位子との相互作用における化学結合特性、構造情報の解明など、有機配位子等(特に N ドナー系配位子)によるイオン選択性に関する研究が多かったと思われる。本セッションでは、42 件の口頭発表と 7 件のポスター発表が行われた。

注目された研究成果としては、これまで Cambridge Structural Database に登録のなかった Cm の有機錯体に関する初めての報告があった。これは、LBNL のアクチノイドバイオロジー系グループの A.Rebecca 博士の研究における成果であるが、タンパク質の中の特殊な環境を用いて、ヒドロキシピリドン型配位子 (HOPO) と Cm(III) や Am(III) との単結晶の作成である。これまで筆者は、過去 10 年近くチャレンジを続けてきた単結晶作りではあったが、反応場を何らかの雰囲気制御した細孔に設定する

か、最近新しく紹介されたスポンジ結晶作成などの方法を用いなければ Pu 以降のアクチノイドの結晶を安定的に作るのは難しいと考えていたところであり、やはりタンパク質内部という反応場を設定することで結晶が出来たという報告は、納得出来るものであった。また、高レベル廃液処理に関する基礎的な要素技術開発においては、米国 INL の Mincher 博士らの硝酸溶液中での Am(V) の安定性評価における Am-241 による自己還元の研究などの研究は、プロセス設計のしやすい酸素ドナーによる分離を可能にする基礎研究として興味深いもので有り、中国科学アカデミーの Weiqun 博士による R-BTPhen の系統的な研究は、最近中国が十分な研究環境を研究者に提供し、アクチノイド化学研究を強力に推進するという強い意志の表れを感じる研究成果としても印象に残った。また、米国 LBNL の研究者により、カリフォルニウム (Cf(III)) やバークリウム (Bk(III)) とピリジンジカルボン酸 (DPA) の錯体に関する報告があったが、An(III) が放出する放射線による構造変質の問題など、結晶構造との関係との比較についての説明は興味深かった。また、日本からの講演者では、東北大の小無准教授らのウラン酸化物の酸素不足結晶におけるオーダリングの問題、東工大の池田教授らのイオン性液体における U(VI) のスペシエーションに関する研究、JAEA の中瀬、鈴木博士らの分離錯体の分子設計に関する研究、芳賀らの系統的超伝導化合物に関する研究は、会議後の雑談の中で海外の研究者からの評価が高かった。

本会議での講演におけるキーワードを分類してみると、アクチノイド錯体化学、アクチノイドの系統的な基礎物性・理論、再処理・分離化学、地層処分、燃料などの分野からの講演が多く、幅広い出口を意識した研究でありつつも、博士研究員

の年齢層を含む優秀な若手研究者の講演が比較的多かった。マンチェスター大の学生さんに、会議の感想を尋ねたところ、原子力関連分野の中でも

サイエンスの興味が持てるので魅力がある分野だと話してくれた。印象に残った一言であった。

会議報告

「Radioactive Contaminants and Waste Management in the Environment」

大貫敏彦（日本原子力研究開発機構）

本セッションでは、放射性核種による汚染した土壌中の化学状態分析や移行性の検討、地層中を移動しやすい核種の固化方法の開発、放射性廃棄物処分場における原位置試験などにより得られた成果が53件発表された。国別では、米国が19件で、続いて韓国の11件、日本10件、英国6件、カナダ、中国、インドネシアが2件、フランスが1件であった。

放射性核種で汚染したサイトにおける研究では、米国のハンフォードサイトやサバンナリバーサイト及びWIPPサイトにおける研究成果が発表された。サバンナリバーサイトでは、7000L規模のライシメーター試験で層内に設置した還元状態のセメントからTc、Crの移行挙動を2年間調べる試験を行い、CrやPuは移行していないが、Tcは移行した結果が報告された。さらに、1980年代のライシメーターを新装してTc等の移行試験を行っている報告もなされた。セメント中に溶鋼スラグを入れることによるバリア効果の変化について調べている。また、水銀の化学状態分析結果や葉中のトリチウム濃度と蛍光強度の関係を調べた結果が発表された。WIPPサイトでは、モニタリングシステムの概要と、これまでに生じた放射性核種の漏出について報告された。カナダから、ウランの鉱滓中のMoの化学状態をXANESで調べて、 $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 等として存在することを明らかにした成果や、チョークリバーにおける廃棄物の中で放射性核種の首里、量が不明な廃棄物の化学除染に関する基礎的研究の成果が報告された。

福島関連の研究では、福島第一発電所において発生した汚染水処理材料の処理法についての現時点での検討状況や放射性Csが土壌コロイドとして移行することによる河川への流入と移行についての研究成果が報告された。さらに、チキソトロ

ピック性の材料を使った放射性Csの回収材の開発に関する研究、おからに含まれるタンパク質がSrの吸着に寄与する可能性が示された研究や、飛灰中の放射性Csのジオポリマーによる固化処理法の開発の成果が発表された。また、放射性Csが吸着したゼオライト充填層の水の放射線分解による水素発生について調べた結果、ゼオライトの細孔内部ではその空間的な制限が発生した水素と前駆体の消滅を阻害することで水素発生が促進される機構が提案された。

韓国では、地層処分の安全性検討のための地下実験施設（URL）を建設し、URLでの地下水中のウランの化学種を調べた結果、 $\text{CaUO}_2(\text{CO}_3)_3$ の存在が確認され、地球化学コードで予測と一致する結果が得られた。 $\text{CaUO}_2(\text{CO}_3)_3$ については、Mg等の金属イオンの存在によりU-金属間の距離が変化することをEXAFS等で明らかにした成果が報告された。核種移行の媒体となる岩盤の特徴の把握では、5タイプの花崗岩中のFeの化学状態を調べて、還元力はFe(II)の含有量よりも岩石からFe(II)の溶出濃度に依存する結果が報告された。低レベル処分場における試験として、Sr等の吸着や微生物の分布調査、亀裂媒体中における移行挙動の検討などの成果が発表された。

研究対象となる核種としては、ウランなどのアクチノイド元素に加えて、ヨウ素とTcのような環境中に易動性化学種として存在する核種が注目を浴びている。移動性核種の固化や鉱物中への固定化に関しては、アパタイトにIを結晶中に取り込ませた新規の固化体の提案があった。化学種がI-の場合には7w%しか取り込まれないが IO_3^- で取り込みにより、より多量のIを取り込ませる方法の提案があった。I-129のガラス固化体の閉じ込め能について、AgIで保管したものは、558度で分解してIが漏出する可能性があるが、リン酸

塩鉱物を添加することにより回避する方法が紹介された。ガス状のヨウ素を回収する目的でアミンを担持させた多孔質シリカの開発も紹介された。Tcについては、LBNLはTcをZn(OH)で閉じ込める現在の方法の改良として、ZnをTiやFeで置き換えて溶解度を抑える条件を調べている。Tcの非晶質鉄鉱物への取り込みをDFTモデル計算した結果、PNNLの実験結果と良い一致が見られた報告や、マグネタイト中のTcの熱力学的挙動、Tcの閉じ込めのための溶鋼スラグを加えたセメント緩衝材の開発が進められていることが紹介された。

分析法としては、2光子を使った微生物細胞などへのウランの濃集の分布を測定する方法が紹介され、微生物細胞付近のウランのマッピングに成功した。ホット試料を扱えるNMRをPNNLのRadEMSLに設置し、ウランの配位環境をXAFS等の解析と併せて調べている。最新の収差補正

HAADF-STEMを使って非晶質鉄鉱物中のLuの存在状態分析する方法が報告された。さらに、市販の試薬に含まれるRIを使ってゲルマの校正曲線を求める方法や、Tcの液体シンチレータによる簡便な測定法の開発が示された。

この他にも、植物を用いたウランの修復方法の提案、ガラス固化体の放射線ダメージの影響を調べた研究、NbやNd(OH)₃の溶解度の検討、かご構造をしたUの鉱物界面での挙動解析の結果U-60が石英に吸着することを見出した成果、易動性粒子に吸着した放射性核種のカラム中の移行挙動、ウランを回収するためのリン酸基担持磁性の多孔体炭素の開発、尿素-フォルムアルデヒド粒子への放射性核種の吸着、ウランを回収する目的でTBPを担持させたアパタイトの開発 日本の農地を対象とした⁵⁴Mnの土壌-土壌水間の分配比の測定結果等が報告された。

会議報告

Pacificchem2015 シンポジウム [Science with Beams of Radioactive Isotopes]

羽場宏光 (理化学研究所 仁科加速器研究センター)

2016年12月15日 - 20日、ハワイ州ホノルルで、The 2015 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacificchem2015) が開催された (学会ウェブサイト: <http://www.pacificchem.org/>)。本稿では、Pacificchem2015会期中に筆者らが世話人として開催したシンポジウム [Science with Beams of Radioactive Isotopes] についてご報告したい。本シンポジウムは、12月17日の午前8:00から翌日の午前11:45までの日程で、ハワイコンベンションセンターにて開催された。発表件数は、招待講演13件、一般講演12件で、すべて口頭発表であった。講演題目と発表者を以下に講演の順で示す (招待講演を“*”で示す)。

- (1) Nuclear science: Exploring the heart of matter, serving society, and educating the next generation of innovators*
Ani Aprahamian (University of Notre Dame, USA)
- (2) Scientific programs with exotic nuclei at RIBF*
Hiroyoshi Sakurai (RIKEN and University of Tokyo, Japan)
- (3) Nuclear science program at ISAC/TRIUMF*
Jens Dilling (TRIUMF, Canada)
- (4) FRIB*
Paul Mantica (Michigan State University, USA)
- (5) Radioactive beam facilities in Europe - current status and future perspectives
Peter Egelhof (GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Germany)
- (6) Nuclear astrophysics experiment at China JinPing underground Laboratory
Xiaodong Tang (Institute of Modern Physics, China)
- (7) Nuclear forces and their impact on matter at neutron-rich extremes
Achim Schwenk (TU Darmstadt, Germany)
- (8) Use of radioactive beams for the synthesis of the heaviest elements
Walter Loveland (Oregon State University, USA)
- (9) Potential for harvesting of long-lived radioisotopes at the Facility for Rare Isotope Beams (FRIB) : Synergistic activities for basic and applied nuclear science*
Suzanne Lapi (Washington University, USA)
- (10) High-power target solutions for large-scale direct Tc-99m production via the Mo-100 (p,2n) reaction*
Paul Schaffer (TRIUMF and Simon Fraser University, Canada)
- (11) Applications of nuclear science for nuclear security*
Jolie Cizewski (Rutgers University, USA)
- (12) Story of Miharu in response to the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident*
Takeshi Koike (Tohoku University, Japan)
- (13) Simulating the supernova neutrinosphere with heavy ion collisions including neutron rich radioactive beams*
Charles Horowitz (Indiana University, USA)
- (14) Radioactive isotope beam developments at TRIUMF*
Peter Kunz (TRIUMF and Simon Fraser University, Canada)
- (15) Beta-delayed neutron spectroscopy using trapped ions

- Nicholas Scielzo (Lawrence Livermore National Laboratory, USA)
- (16) Neutron generator facility at SFU - GEANT4 dose prediction and verification
Kris Starosta (Simon Fraser University, Canada)
- (17) $S\pi$ RIT project at RIBF, RIKEN - exploring symmetry energy at supra-density*
Tetsuya Murakami (Kyoto University, Japan)
- (18) Dipole response of exotic nuclei and the nuclear symmetry energy*
Thomas Aumann (TU Darmstadt and GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Germany)
- (19) Learning from the continuum structure of light nuclei*
Lee Sobotka (Washington University, USA)
- (20) Partial dynamical symmetries in nuclei
Richard Casten (WNSL Yale University, USA)
- (21) In-trap decay spectroscopy for electron capture branching ratios using TITAN at TRIUMF
Corina Andreoiu (Simon Fraser University, Canada)
- (22) Measured charge density difference between the isotones ^{206}Pb - ^{205}Tl
Shalom Shlomo (Texas A&M University, United States)
- (23) Investigating the low-lying structure of ^{46}Ca from the β^- decay of ^{46}K
Jennifer Pore (Simon Fraser University, Canada)
- (24) Doppler shift lifetime measurements using the TIGRESS Integrated Plunger
Aaron Chester (Simon Fraser University, Canada)
- (25) How to observe chemical equilibration in a femto-scale system on a zeptosecond timescale
Alan McIntosh (Texas A&M University, United States)

上記の講演題目からも分かるように、世界各国の RI ビーム施設の現状、将来計画、RI ビームを利用した原子核物理学研究に加え、医療用 RI の製造、福島原子力発電所事故対応、核安全保障など、幅広い分野からの講演があった。以下、筆者の独断で講演のいくつかを紹介したい。

理研 / 東大の櫻井博儀²⁾ (引用した番号は上記講演番号に対応) は、2006 年から稼働を開始した理研 RI ビームファクトリー (RIBF) の現状と将来計画、RI ビームを利用した原子核物理学研究の最前線について報告した。RIBF では、2 基の重イオンリニアックと 5 基のサイクロトロンによって、 ^{238}U までの様々な重イオンを光速の 70% 程度まで加速できる。この高エネルギー重イオンビームを標的に照射し、入射核の核破砕または核分裂反応によって生じた RI を BigRIPS とよばれる RI ビーム生成分離装置を用いて分離し、全質量数領域にわたって世界最高強度の RI ビームを発生する。RIBF では、ゼロ度スペクトロメーター、大立体角多重粒子磁気分析装置 SAMURAI (Superconducting Analyzer for Multi-particle from Radioactive Isotope beams)、超低速 RI ビーム生成装置 SLOWRI (RF ion-guide for SLOW and trapped RI-beam)、高分解能 RI ビームスペクトロメーター SHARAQ (Spectroscopy of HAdronic systems with RadioActive Quantum beam、東大 CNS) などの基幹設備に加え、欧州大球形 Ge 検出器 (EUROBALL) や液体水素標的システム (MINOS: MagIc Numbers Off Stability) などの実験装置が持ち込まれ、国際共同研究の下、エキサイティングな研究成果が生まれつつある。京大の村上哲也¹⁷⁾ は、RIBF における $S\pi$ RIT (SAMURAI Pion-Reconstruction and Ion-Tracker) プロジェクトについて紹介した。本プロジェクトでは、核子当たり 300 MeV 程度の重イオンの中心衝突から発生する正負 π 中間子の生成比を SAMURAI 電磁石に多重飛跡検出器 (TPC: Time-Projection Chamber) を組み込んで測定し、原子核状態方程式の対称エネルギー項に強い制約を与えることを目指している。

カナダ TRIUMF の Jens Dilling³⁾ は、ISOL 型の RI ビーム施設である Isotope Separator and ACcelerator (ISAC) の現状と Advanced Rare

IsotopE Laboratory (ARIEL) の将来計画について報告した。ARIEL では、50 MeV×10 mA 級の大強度電子リニアックの建設と光核分裂反応を利用した RI ビームの生成が計画されている。さらに TRIUMF では、核医学用 RI の製造も活発に行われている。TRIUMF/サイモンフレーザー大の Paul Schaffer¹⁰⁾ は、0.5 mA の大強度 24 MeV 陽子ビームを TR30 サイクロトロンで加速し、¹⁰⁰Mo (p,2n)^{99m}Tc 反応によって核医学診断用 ^{99m}Tc を大量製造 (~1 TBq) する照射技術と化学精製技術について報告した。

米国ノートルダム大学の Ani Aprahamian¹⁾ ならびにミシガン州立大の Paul Mantica⁴⁾ は、2022 年にミシガン州立大に完成予定の大型 RI ビーム施設「Facility for Rare Isotope Beams: FRIB」について紹介した。ワシントン大の Suzanne Lapi⁹⁾ は、FRIB における RI ビーム生成時、ビームダンプに副産物として生じる長寿命の有用 RI を効率的に収穫する技術開発について報告した。

ドイツ重イオン科学研究所 (GSI) の Peter Egelhof⁵⁾ は、現在欧州で稼働中の RI ビーム施設である GSI の FRagment Separator (FRS)、欧州原子核研究機構 (CERN) の Isotope Separator On Line DEvice (ISOLDE)、フランス Grand Accélérateur National d'Ions Lourds (GANIL) の Système de Production d'Ions Radioactifs Accélérés en Ligne (SPIRAL) の現状、さらに次期計画である CERN の High-Intensity and Energy ISOLDE (HIE-ISOLDE)、ベルギーの Multipurpose hYbrid Research Reactor for High-tech Applications (MYRRHA)、ドイツの Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR) の NUClear STructure, Astrophysics and Reactions (NUSTAR)、イタリアの Selective Production of Exotic Species (SPES)、GANIL の SPIRAL2, European Isotope Separation On-Line Radioactive Ion Beam Facility (EURISOL) の概要を紹介した。

オレゴン州立大の Walter Loveland⁸⁾ は、中性子過剰の RI ビームによる超重元素合成の可能性を検討した。新元素の合成には RI ビームの強度は全く足りないが、近い将来実現するビーム強度 ($\sim 10^{10} \text{ s}^{-1}$) によって、104 番～107 番元素の中性子過剰の新同位体の合成が可能であるという理論的予測が示された。一方、東北大の小池武志¹²⁾ は、2011 年の福島第一原子力発電所事故に関して、発電所から西に 45 km 離れた三春町において事故直後から取り組んだ環境放射能計測やヨウ素剤による住民の被曝防止対策について報告した。

欧米と日本を中心に多数の RI ビーム施設が稼働し、RI ビームを利用した物理や化学の基礎研究から、医療や工業などの応用まで様々な研究が進められている。現行施設のアップグレードや次世代 RI ビーム施設の建設も多数計画されている。組織委員のメンバーと次回のシンポジウムの開催を約束した。5 年後の Pacificchem2020 において、RI ビーム科学のさらなる進展を楽しみにしたい。



招待講演をお引き受けいただいた東北大の小池武志先生 (左) ならびに理研/東大の櫻井博儀先生 (右)。中央は、シンポジウム組織委員の Kris Starosta 先生 (サイモンフレーザー大)。シンポジウム初日の夕食会にて筆者が撮影。

時過ぎて

Gregory Robert Choppin 先生 (1927-2015)

薬袋佳孝 (武蔵大学化学教室)



Gregory Robert Choppin 先生ご逝去 (2015年10月21日病没) の報に接し、哀悼の念、痛切を禁じ得ない。ポストドクとして先生の下で過ごした二年間は小生のその後の研究・教育活動

の基盤を形成するものであった。また、先生のお人柄であろうか、お互いを **respect** する気持ちを絶やさぬ姿を間近にして、大学教員の一つの理想像を見出ししていたようにも思う。

先生のご研究は放射化学、分析化学、錯体化学の広い領域に及び、その成果は300編を越す論文に結実している。特に、アクチニドの溶液化学は先生のご研究の中核を成すものであった。その発端は Berkeley グループに居られた時の101番元素メンデレビウム Md の発見にさかのぼる。Florida State University (FSU) に研究室を開かれてからはランタニドにも研究対象を広げられ、Choppin 研究室は f ブロック元素化学の世界的な研究拠点となった。日本からも多くの研究者が先生の研究室を来訪し、薫陶を受けた。その多くは、放射化学、分析化学、原子力工学などの様々な領域で現在も活躍されている。

*

Choppin 先生は1927年11月9日 Texas 州の生まれであるが、New Orleans 育ちで、同市 Aloysius High 卒業後、地元の Loyola University に進まれた。南部を代表する私立大学の一つで、その化学館には先生のお名前が冠せられている。同大学在籍中に陸軍に徴兵となり大阪に赴任された。これが最初の来日となる。除隊、卒業後は University of Texas, Austin に生まれ、遷移金属元素の錯体化学に関する研究で博士号を授与された。その後、University of California, Berkeley の Seaborg 研究室に所属し、新元素 (Es, Fm, Md) 合成のプロジェクトに参画された。加速器技術と

放射化学分離を駆使した実験の様子は映像としても残されており、動画サイト YouTube などでも現在も目にすることが出来る。

1956年、Choppin 先生は FSU (Florida 州 Tallahassee 市) に赴任され、研究室を主宰することとなった。州立の女子大を前身とする FSU は州を代表する University of Florida (Gainesville 市) の後塵を拝する位置づけにあった。Berkeley とは全く異なる研究環境の中で、先生はアクチニドとランタニドの溶液化学を軸に据えての研究を展開された。溶媒抽出などの放射化学分離技術や熱量計を駆使し、f ブロック元素の溶液内錯形成について平衡論あるいは速度論の観点から、無機化学の基礎に関わる研究を展開した。また、こうした溶液系での基礎研究をベースとして、溶媒抽出などの分離化学とその応用にも研究領域を広げ、原子力工学などの分野からも注目された。さらに、後年には、溶液化学研究のための新技術開発 (レーザー分光、NMR など) やアクチニド環境化学などの領域も研究室の中核的なテーマに加わることとなった。

1963年に正教授に昇進されてからは、教育・学内行政などの職務にもさらに精励された。スウェーデンのリドベルグ教授らとの共著で出版された *Radiochemistry and Nuclear Chemistry* (和訳は柴田誠一監訳「放射化学」、丸善) は、Choppin 先生の長年の教育面でのご経験の賜物といえよう。また、学科主任をのべ10年にわたり務められるなど、大学への貢献も図り知れないものであった。研究・教育・大学への貢献は早くから知られ、1967年には FSU の教授陣として最高の榮譽の一つとされる Robert O. Lawton Distinguished Professor の称号が授与される。

外部の学会などによる顕彰も枚挙に暇がない。例えば、放射化学の分野の代表的な賞である Hevesy Medal は2005年に授与されている。この他にも、アメリカ化学会や国際希土類学会など、

多くの学会や団体から顕彰され、その功績は広く知られている。ここでは、化学教育に関する賞を挙げておくことにする。Manufacturing Chemists Association から 1979 年に授与された National College Chemistry Teacher Award である。熱心に優れた教育者としての側面を思い起こさせる。

70 歳を過ぎてからも FSU で研究室を主宰されて来た Choppin 先生であったが、2001 年で教授としての任務からは離れることとなった。しかし、長年に渡って先生の研究を支えてきたエネルギー省からの研究費は継続しており、研究室自体はその後もしばらく存続した。私が先生の研究室を最後に訪れたのは 2005 年早春であったが、以前通りの教授室そして研究室であった。しかし、研究室員はインドの Bhabha Atomic Research Center のグループを中心としたポストドクで、学生の姿はなかった。

2013 年 4 月、Choppin 先生の弟子たちと先生の後任の Albrecht-Schmitt 教授（アクチニドの固体化学・材料化学）の合同企画による Choppin 先生記念シンポジウムが FSU で開催された。自宅で静養中の先生が公の場に出られた数少ない機会であった。その後は弟子たちが接することの出来るような機会はなく、悲しみの 2015 年秋の訪れを迎えることとなった。

*

日本の研究者との交流は長きに渡り、常に活発であった。1973 年に大磯で開催された放射化学分野での第 1 回日米セミナー（1973 年、代表者は木村健二郎先生とローランド先生）は、Choppin 先生と日本の放射化学研究者との交流の原点といえよう。Choppin 研究室に参画した最初の日本からの研究者は米田速水先生（溶液化学・錯体化学、広島大学）であるが、日本とのつながりが強い絆となるのは、この日米セミナーのころからである。特に、長谷川佑子先生（分析化学、東京理科大学）は、ランタニドの溶液化学（溶媒抽出、熱化学など）について Choppin 先生との国際共同研究を数十年に渡って継続し、幾多の成果を挙げた。

小生は 1986 年から 2 年間 Choppin 研究室でアクチニド (III) フミン酸錯体の溶存状態の研究に従事したが、このころから日本からの留学が活発

となる。その少し前には、斉藤昭先生（分析化学、東京学芸大学）、小橋浅哉先生（東京大学）がアクチニドの吸着分離をテーマに Choppin 研究室に留学されている。私と同時期には、佐藤伊佐務先生（東北大学）、菅沼英夫先生（静岡大学）、米沢伸一郎博士（日本原子力研究所）がアクチニドの溶媒抽出などの研究に精励された。小生の帰国直後には、井村久則先生（分析化学、金沢大学）、山崎浩道先生（原子力工学、東北大学）と大学関係者の留学が続いた。基礎科学としてのアクチニド化学を志す者にとって、FSU での研究体験は何物にも代えられないものであった。もちろん、日本のアクチニド化学の最重要拠点の一つである日本原子力研究所（現在、日本原子力研究開発機構）からは、米沢博士に続いて、青柳寿夫氏、目黒義弘博士、佐々木祐二博士、木村貴海博士らが、Choppin 研究室に赴かれ、アクチニド化学についての共同研究を発展させた。こうした放射化学分野での継続的な人的交流が可能となったのは、Choppin 先生と厚い信頼関係を築いて来られた富永健先生（東京大学）、立川圓造先生（日本原子力研究所）、吉田善行先生（日本原子力研究所・東京大学）、そして長谷川佑子先生らのご努力の賜物でもあった。

日本だけではなく、Choppin 研究室はアクチニド化学の研究拠点として世界の研究者によく知られていた。例えば、小生が在籍していたころ、ポストドクたちの出身国はエジプト、インド、ベルギー、中国、ソ連、日本に及んでいた。文化的な基盤を異にした若い研究者がそれぞれの母国語のアクセントを色濃く残した英語をあやつりながら研究者として成長していく。これを Choppin 先生は楽しんでおられたようにも思う。毎日が国際交流と異文化交流の場であったが、Choppin 先生の暖かい人柄と機知に富んだお話を軸としての人と人との交流は、今も Cheminoles（FSU 化学科 OB・OG のことで FSU スポーツチームの愛称 Seminole にちなむ）あるいは Choppinite たちの宝である。

ところで、かつての Choppin グループの面々に語りかけると必ずニヤッとする一種の相言葉がある - 'two weeks' project'。Choppin 先生が新しいメンバーと研究テーマについて相談する時に必

ず出てきたのがこのフレーズであった。二週間で完了するような簡単でた易いプロジェクトに感じられるが、始めてみると、易しい、簡単だ、あるいは分かり切ったことが、全くそうではないということが分かってくる。二週間は半年に、そして、一年、さらには数年に及んでいく。研究の世界の深淵さを語る言葉であることがやがて分かって来るのである。Choppin 先生からこのフレーズを伺うことは最早出来ないのだが、今もどこかで Choppin 研出身の Cheminole がニヤリとしながら口ずさんでいるように思う。

*

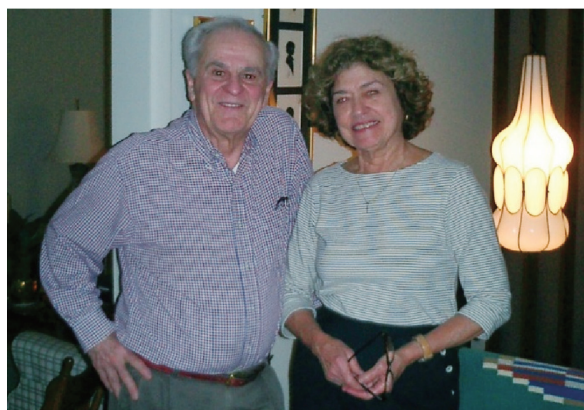
Choppin 先生のご研究の中核を成してきたアクチニド溶液化学は、FSU ではアクチニド固体化学にシフトすることとなった。溶媒で希釈された溶液系に比べて放射能濃度が著しく高く、安全取扱には最新の設備・技術が必要である。対象となるアクチニド元素の供給も含めての数十年間にわたる実験技術の進化によって実現可能となった未来志向のテーマといえよう。この一方で、アクチニドの環境化学や分析・分離といった応用領域でのニーズの高まりを背景として、基礎科学としてのアクチニド溶液化学はより重要となっている。州内に Hanford Site を抱える Washington 州に Cheminoles を主要メンバーとする放射化学の強力な研究拠点が形成されている。Pullman 市の Washington State University である。小生が Choppin 研究室のポスドクのころ大学院生であった Sue Clark 教授を中心に、先輩 Cheminole の Kenneth Nash 教授、少し後輩の Nathalie Wall 助教授、その夫君の Donald Wall 教授などの

Choppin 研究室出身者が、分析化学・放射化学・環境化学大講座の中核メンバーとして活躍している。Choppin 先生の播かれたアクチニド化学を軸としての放射化学の種は、米国でそして世界で、様々に芽吹いている。

*

盆栽、碁、寿司など、日本特有の文化にも興味を持たれ、それらを好まれた Choppin 先生。スポーツを愛し、FSU のスポーツイベントには寸暇を惜しんで足を運ばれていた Choppin 先生。ラケットボールでお手合わせをお願いするつもりであったが、これは叶わぬこととなった。門下生そしてそれにつながる者たちの研究面での活躍とそれぞれの人生を暖かく見守っていただければと思う。もっとも、本当に静かにはしてくれなくて、例えば、'KISS-keep it simple and stupid' と先生お得意の警句が返ってくるような気もする。

謹んで先生のご冥福をお祈り申し上げます。



Ann 夫人とともに（ご自宅にて、2004年2月、著者撮影）

情報プラザ (国際国内会議)

国内会議

2016 日本放射化学会年会・第60回放射化学討論会

日時：2016年9月10日(土)～12日(月)
場所：新潟大学五十嵐キャンパス

国際会議

1st International Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry (RANC-2016)

日時：10 - 16 Apr, 2016
場所：Budapest, Hungary

IRPA 14 – International Radiation Protection Association

日時：9 - 13 May, 2016
場所：Cape Town, South Africa

16th International Workshop on Targetry and Target Chemistry (WTTC-16)

日時：29 Aug – 1 Sep, 2016
場所：Santa Fe, New Mexico, USA

The Fourth International Conference on Radiation and Applications in Various Fields of Research (RAD 2016)

日時：23 - 27 May, 2016
場所：Niš, Serbia

NRC-9 – 9th International Conference on Nuclear and Radiochemistry

日時：29 Aug – 2 Sep, 2016
場所：Helsinki, Finland

ND2016 – International Conference on Nuclear Data for Science and Technology

日時：11 - 16 Sep, 2016
場所：Bruges, Belgium

13th International Conference on Radiation Shielding (ICRS-13) and 19th Topical Meeting of the Radiation Protection & Shielding Division (RPSD-2016)

日時：3 - 6 Oct, 2016
場所：Paris, France

The 28th World Conference of the International Nuclear Target Development Society (INTDS 2016)

日時：13 - 18 Nov, 2016
場所：Cape Town, South Africa

学会だより

1. 日本放射化学会第71回理事会 [2014 学会 年度第4回理事会] 議事要録抜粋

日時：2015年6月20日（土）13:30 - 16:30

場所：東大農学部2号館1階講義準備室

出席者：出席者：[会長] 中西、[副会長] 工藤、[理事]
橋本、坂口、大槻、高橋、羽場、酒井、
長尾、間柄、佐々木、[監事] 永井

欠席者：[理事] 鈴木、[監事] 末木

オブザーバ：なし

* 委任状提出：なし

報告

- 事務局報告として、前回議事録の確認、会員の
動向・会費納入状況、会計の報告ならびに
メール回議の報告がなされた。学生会員が多
く退会している一方、入会が無かった。学生
の入会は学会前にあると思われる。3年以上の
滞納者が14名おり、メールで催促を行っている。
一部会員は連絡先が不明である。JNRSの
出版に関連する支出が12-14年度分まとめて
あった。そのため今年度の負担となっている。
業者に対し小まめに請求するよう依頼した。
なお出版費用が支出で大きな割合を占めてい
る。主にページ数で金額が決まっているため、
他に削減のアイデアが無い印刷会社に問い
合わせてみては、との意見が出された。収入
として、名古屋での討論会からの返納があっ
た。
- ネット委員会について：NRS メールニュース
を新設し、第1号を6月1日に8件の記事を
配信した。メールニュース2号の準備を進め
ている。隔月で7月末を予定している。今後
の継続可否の見極めについては、酒井理事か
ら、今後5件/号（=2ヶ月）（年平均で検討）
を下回るようなことになっていけば、ニーズ
（継続の意義）があまり無いと判断し、一旦休

刊を視野に入れるべきかもしれないとの考え
が出された。

- 第60回記念年会・年放射化学討論会の進捗状
況について：平成28年9月10日（土）- 12日
（月）で会場（新潟大学五十嵐キャンパス）を
確保した旨報告があった。企画等については
今後詰めていく予定であり、理事各位からも
アイデアを頂きたい。なお、9月9日（来年）
に理事会を開催する予定としたい。

審議

- 学会予算収支の見通しについて検討するため、
坂口理事からシミュレーションの結果が紹介
された。学生会員がかなり少なく、会員の高
年齢化は避けられないのが現状であることが
確認された：本年3月時点の情報では、正会
員（会費納入者、65才以上が10名、75歳以
上が7名）、永年会員10名（納入なし）、名誉
会員12名である。このまま永年会員（75歳
以上で免除を希望すれば無条件に認めている）
から会費を徴収しない場合、来年度から単年
度収支がマイナスに転じることが分かった。
一方、20代の正会員は1学年あたり約2名と
いう厳しい現状である。会員数増加のための
喫緊の対応として、HPの刷新が必要である
との意見が出された。こうした対策のために、
用途が定まっていない既存の基金を利用すべ
きとの意見が出された。但し、抜本的な目標は、
年次の収支のプラスの維持である。このため、
暫定的に行われてきた永年会員の会費無料制
度を中止すべきではないかとの意見が出され
た。本理事会での議論を踏まえ、工藤理事が
対策案を作成することとなった。
- 学会賞および奨励賞の選考結果について、学
会賞1名の候補者が会長に報告された。学会
賞規定に基づき、理事会で審議した結果、当
該候補者を受賞者とする事が承認された。

また過去の受賞者について、HPにて紹介することとなった。

3. 放射化学誌「論文投稿規則」の改定について、第12条(別刷り)の改定及び第13条(原稿料)の削除承認された。また、「論文投稿の手引き」を改定した旨報告があった。
4. 名称変更した「放射化学」について、新しいISSN番号を付与する提案がなされ、可決された。
5. JSTデータベースへ「放射化学誌」の収録依頼があった旨の説明がなされ、利用許諾することで可決された。
6. 和文誌「放射化学」に掲載された論文等の著者の著作権許諾が必要であることから、羽場理事により記入フォーマット案を作成し、メール回議に付すことが了解された。

以上

2. 第17回日本放射化学会総会 報告概要

日時：2015年9月26日(土) 13:00 - 14:10
場所：東北大学川内北キャンパス講義棟A棟 200-S 会場

会則の規定により工藤副会長が中西会長代理で議長となり、議事が進められた。

- 1) 会長報告
- 2) 2014学会年度事業報告及び収支決算(案)および会計監査報告
- 3) 2015学会年度事業計画及び収支予算(案)
- 4) 会則の変更について

1) ~ 4) について、総会資料に従って報告された。会場での質疑応答は以下のとおりである。

(問) 永年会員は割合として少ないので、予算のひっ迫と無関係ではない

(答) 理事会におけるシミュレーションによれば、今後対象者が増加するため、将来の影響は必ずしも楽観視できない。

(問) 予算は安定しているのではないのか。

(答) その通りである。但し今後論文投稿が増えた場合(現在掲載料無料)、財源を圧迫することが予想される。

(問) 永年会員の推挙に不公平が生じないように

して欲しい。

(答) 拝承。理事会としては、名誉会員及び永年会員規定を検討し、一定の資格を満たせば推挙できるよう、日本放射化学会会則の改定案を提案した。

(問) 福島関連のセッションや論文特集号を出してはどうか。

(答) 検討する。

(問) 要旨集を紙媒体で残してはどうか。

(答) 意思決定を行う現地委員会との協議が必要である。

以上の質疑の末、全議決事項について拍手をもって承認された。

最後に工藤副会長から、会の活性化をいかに図るかが、重要な課題と認識しており、引き続き会長のもと理事会で検討していきたい旨の挨拶があり、閉会した。

以上

3. 日本放射化学会第72回理事会 [2015学会年度第1回理事会] 議事要録抜粋

日時：2015年9月24日(木) 16:30 - 18:40
場所：東北大学川内北キャンパス川北合同棟101室

出席者：[理事] 橋本、坂口、大槻、羽場、長尾、間柄、佐々木、酒井 [監事] 永井、末木

欠席者：[会長] 中西、[副会長] 工藤、永井

オブザーバ：なし

* 委任状提出：中西、工藤、鈴木

報告

1. 事務局報告として、前回議事録の確認、会員の動向・会費納入状況、会計、ならびにメール回議の報告がなされた。会員動向について、引き続き未納者への呼びかけを行っていく。また、会員に会員番号が与えられておらず、処理上不便が生じる可能性がある。ASに番号での整理が可能か確認することとなった。会計に関して、APSORCの決算がまだ終わっていないとの報告があり、引き続き関係者に確認することとなった。また、入会や入金の情報

報が都度AS側から入ってこないため、ASに報告を要請することとした。

- ネット・広報委員会の活動について、ML配信数24件、HPの更新作業（ML配信内容、JNRS論文の掲載、和文誌の掲載、APSORC13プロシーディングス掲載、JNRSメールニュース第2号の配信、会長挨拶掲載など）について報告があった。

審議

- 総会について、会長報告（理事会での主な議事、来年度に向けた活動-情報の活用・学会誌・出版・他学会とのコラボレーション・予算の活用等、学会賞、事業報告）がなされた。坂口理事より会計報告がなされ、2014年度の決算が認められた。2015年度予算においては、来年度討論会（新潟大）が60周年会であり、追加の予備費を計上することが認められた。

- 和文誌放射化学の著作権譲渡同意書の文案が放射化学編集委員会で作成されたのを受け、その内容について審議され、一部修正のうえ承認された。また、これに伴い和文誌「放射化学」投稿規則第13条の改訂が以下の通り起案され、承認された。

旧：論文誌に掲載された全ての論文等の著作権は本会に帰属する。

新：論文誌に掲載された全ての論文等の著作権は本会に帰属する。原著論文、総説論文、短報については、著者は論文受理後速やかに「著作権譲渡同意書」を本会に提出しなければならない。

付則 この規則は、2015年10月1日から施行する。

- ※前回の理事会で改訂された旧第13条（原稿料）等についても、施行年月日をこれに併せることとなった。

編集委員会等の会則の更新は、理事あるいは委員長名であらかじめ正式な依頼を行うべきであるとの意見が出された。

以上

- 日本放射化学会第73回理事会 [2015学年度第2回理事会] は、2015年12月12日(土)

に開催されましたが、議事要録未承認のため、次号にて報告します。

5. 会員動向（平成27年7月～平成28年1月）

新規入会（正会員）

氏名	所属
王 鐘堂	放射線医学総合研究所放射線防護研究センター
大内 和希	日本原子力研究開発機構原子力科学研究部門原子力基礎工学研究センター原子力化学ディビジョン分析化学研究グループ
瀬川優佳里	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力科学研究部門原子力基礎工学研究センター原子力化学ディビジョン放射化学研究グループ
松本 康	かがわ保健薬剤薬品製造課
三木志津帆	水産総合研究センター中央水産研究所海洋・生態系研究センター放射能調査グループ
矢納 慎也	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応用研究開発室R I応用チーム
山形 武靖	日本大学文理学部

新規入会（学生会員）

氏名	所属
大江 崇太	金沢大学理工学域物質化学類化学コース放射化学研究室
越智康太郎	明治大学大学院理工学研究科応用化学専攻放射化学研究室
亀澤 明憲	筑波大学大学院数理物質科学研究科化学専攻末木研究室
神田 晃光	大阪大学理学部化学科放射化学研究室
工藤 輝	日本大学大学院総合基礎科学研究科相関理化学専攻

小荒井一真	東北大学大学院理学研究科化学 専攻環境放射化学研究室
近藤 成美	大阪大学理学部化学科篠原研究 室
酒井 浩章	金沢大学大学院自然科学研究科 物質化学専攻化学コース放射化 学研究室
佐野 陽祐	東北大学大学院理学研究科化学 専攻放射化学研究室
塩原 良建	明治大学大学院理工学研究科応 用化学専攻放射化学研究室
鈴木 杏菜	大阪大学理学研究科化学専攻放 射化学研究室
添盛 晃久	東京大学大学院総合文化研究科 広域科学専攻広域システム科学 系環境分析化学研究室
田中 徹	京都大学大学院工学研究科物質 エネルギー化学専攻大槻研究室
張 子見	大阪大学大学院理学研究科化学 専攻放射化学研究室
中口 将行	大阪大学大学院理学研究科化学 専攻 RI センター豊中分館吉村 研究室
南部 明弘	大阪大学理学部化学科篠原研究 室
藤田 将史	大阪大学理学部化学科放射化学 研究室
本多 真紀	筑波大学大学院数理物質科学研 究科化学専攻放射化学研究室
宮内 翔哉	首都大学東京大学院・理工学研 究科・分子物質化学専攻同位体 化学研究室
山守 航平	金沢大学理工学域物質化学類放 射化学研究室

所属変更 (個人会員)

氏名	所属
及川 真司	原子力規制委員会原子力規制庁
佐藤 哲也	日本原子力研究開発機構先端基 礎研究センター重元素核科学研 究グループ
篠原 伸夫	日本原子力研究開発機構核不拡 散・核セキュリティ総合支援セ ンター
土井 妙子	国立環境研究所資源循環・廃棄 物研究センター
松尾 海	長野県飯田市立飯田東中学校
目黒 義弘	日本原子力研究開発機構環境技 術開発センター基盤技術研究開 発部

所属変更 (学生会員)

氏名	所属
該当者なし	

退会 (正会員)

氏名	氏名
上野 慎吾	太田 朋子
小山 真一	白神 宜史
チョン千香子	久松 俊一
村松 康行	吉澤 幸夫

退会 (学生会員)

氏名	氏名
後藤 尚哉	武山 美麗
中村 宏平	森本 佳祐

○2014 学会年度 (2014 年 9 月 1 日 - 2015 年 8 月 31 日) 決算

収入の部

単位 (円)

項目	予算	収入	差額 (収入 - 予算)	備考
個人会費	2,100,000	2,227,000	127,000	2013 以前未払分、2015 年度以降分含む
賛助会費	1,200,000	1,050,000	-150,000	2013 年度分込
雑収入	150,000	845,784	695,784	利息, 2014 年会寄付
前年度繰越金	4,814,746	4,814,746	0	
収入合計	8,264,746	8,937,530	672,784	

支出の部

単位 (円)

項目	予算	支出	差額 (予算 - 支出)	備考
討論会補助金	200,000	200,000	0	2015 年会 (59 回)
要旨集補助	500,000	500,000	0	2014 年会 (58 回)
出版事業費	1,435,000	1,405,078	29,922	
事務費	10,000	0	10,000	
雑誌校正・印刷費	1,250,000	1,332,450	-82,450	放射化学 30、31 号、JNRS12-14、15(1,2)
発送費 (送料、封入作業費等)	150,000	72,628	77,372	放射化学 30、31 号
J-Stage 用 pdf 化費	25,000	0	25,000	
会議費	530,000	404,534	125,466	
理事会	450,000	404,534	45,466	12、3、6 月理事会旅費
委員会等	80,000	0	80,000	
研究会等補助	200,000	200,000	0	夏の学校、環境放射能研究会、TAN15
事務局経費	570,000	629,951	-59,951	
事務費	100,000	13,446	86,554	振込手数料、カード年会費
選挙関係	0	0	0	
外部委託費用 (会費、会員管理、通信費)	450,000	613,175	-163,175	2014 年度概算・精算払 (2013 年度 7、8 月分含む)
通信費	20,000	3,330	16,670	
ネットワーク管理運営費	24,000	24,439	-439	プロバイダ費用
学会賞	55,000	46,548	8,452	
楯	40,000	38,880	1,120	
表彰状印刷、額縁	15,000	7,668	7,332	
共催金	5,000	0	5,000	
支出合計	3,519,000	3,410,550	108,450	
繰越残高	4,745,746	5,526,980		

○次年度繰越金
(内訳)

5,526,980 円

○基金等
(内訳)

3,737,627 円

三井住友銀行

1,215,684 円

基金 (黒田基金 40 万円を含む)

2,810,123 円

ゆうちょ銀行

4,310,759 円

記念事業分

627,229 円

現金

537 円

基金 (斎藤基金)

300,275 円

合計

9,264,607 円

○ 2015 学会年度 (2015 年 9 月 1 日 - 2016 年 8 月 31 日) 予算

収入の部

単位 (円)

項目	2014 学会年度	2015 学会年度	差 額 (2015-2014)	備 考
個人会費	2,100,000	2,306,000	206,000	正会員 302 学生会員 64
賛助会費	1,200,000	1,200,000	0	
雑収入	150,000	440,000	290,000	利息、放射化学の事典
前年度繰越金	4,814,746	5,526,980	712,234	
収入合計	8,264,746	9,472,980	1,208,234	

支出の部

単位 (円)

項目	2014 学会年度	2015 学会年度	差 額 (2015-2014)	備 考
討論会補助	200,000	500,000	300,000	2016 年 年会 (60 回)
補助金	200,000	200,000	0	
60 回記念大会予備費	0	300,000	300,000	
要旨集補助	500,000	500,000	0	2015 年 年会 (59 回)
出版事業費	1,435,000	1,525,000	90,000	
事務費	10,000	10,000	0	
雑誌校正・印刷費	1,250,000	1,315,000	65,000	放射化学 32 号、33 号、英文誌、放射化学の事典献本
発送費 (送料、封入作業費等)	150,000	150,000	0	
J-Stage 用 pdf 化費	25,000	50,000	25,000	2014 年度分込
会議費	530,000	530,000	0	
理事会	450,000	450,000	0	
委員会等	80,000	80,000	0	
研究会等補助	200,000	200,000	0	
事務局経費	570,000	750,000	180,000	
事務費	100,000	100,000	0	
選挙関係	0	180,000	180,000	選挙開催年
外部委託費用 (会費、会員管理)	450,000	450,000	0	
通信費	20,000	20,000	0	切手、送信手数料等
ネットワーク管理運営費	24,000	435,900	411,900	ネット関係
プロバイダ費用	24,000	24,500	500	2014 年度支払額より
ドメイン更新料		11,400	11,400	2015 年 7 月手続き済み
HP 整備		400,000	400,000	桧垣会員情報 +10 万
学会賞	55,000	55,000	0	2015 年度学会賞
楯	40,000	40,000	0	
表彰状印刷、額縁	15,000	15,000	0	
共催金	5,000	5,000	0	
予備費	4,745,746	4,972,080	226,334	
支出合計	8,264,746	9,472,980	1,708,234	

「放射化学」論文編集委員会規定

(名称)

第 1 条 この規定は、日本放射化学会（以下、本会という）会則第 28 条に基づき、日本放射化学会の和文誌「放射化学」の「放射化学」編集委員会を設置し、その運営に当たるために定める。

(編集委員会の構成)

第 2 条 編集委員会は、編集委員長 1 名、編集担当理事 1 名、並びに編集委員約 5 名で構成する。編集委員長は、前委員長の推薦により選任され、理事会の承認を得て、会長が任命する。編集委員は、編集委員長の推薦により選任され、理事会の承認を得て会長が委嘱する。

第 3 条 編集委員長および編集委員の任期は 2 年とし、重任を妨げない。

(編集委員会)

第 4 条 編集委員会は、次の事項について企画・審議し、「放射化学」の継続的な発行を行う。

- (1) 「放射化学」誌の編集および発行に関すること
- (2) 「放射化学」誌への投稿論文の審査に関すること
- (3) 「放射化学」誌の編集委員長候補者及び編集委員候補者の推薦に関すること

(「放射化学」誌の発行)

第 5 条 本会が発行する「放射化学」誌は、1 年に 2 回発行し、それぞれ異なる巻数を割り振る。

(論文の審査)

第 6 条 編集委員会は、「放射化学」へ投稿された論文に対して、担当編集委員 1 名を決定する。審査を要する記事については、担当編集委員は審査員 1 名を選出し、審査を依頼する。

第 7 条 論文審査の手続きは、別に定める審査内規による。

第 8 条 本規定の改定は理事会の決議による。

付則 この規定は、2013 年 1 月 1 日から施行する。

「放射化学」発行規定

(目的)

第 1 条 日本放射化学会和文誌「放射化学」は、日本放射化学会（以下、本会）の目的を達成するために、(i) 放射化学並びにその関連領域における重要な進歩を含む学術論文と (ii) 会員および関連分野の研究者にとって有益な最新トピックスをまとめた記事を掲載する。

(「放射化学ニュース」との関係)

第 2 条

「放射化学」は「放射化学ニュース」（2012 年まで発行、第 26 号が最終号）の後継誌であり、創刊年は 2013 年、巻数は第 27 巻からの発行とする。

(掲載記事)

第 3 条 「放射化学」は審査付き論文とそれ以外の放射化学関連分野の最新トピックスを掲載する。前者には、原著論文、総説論文、短報の各欄を設け、後者はこれまでの「放射化学ニュース」を引き継ぎ、様々な記事を積極的に掲載する。

1. 審査付き論文

1-1. 原著論文は、新規な内容にもとづき論理的に明瞭な結論を含む学術論文をいう。

- 1-2. 総説論文は、当該分野のこれまでの研究の進展を専門的な立場から解説する学術論文とする。
- 1-3. 短報は、重要な研究成果を含んだ短い学術論文で、編集委員会は特に迅速な公表を行う。(未完でも学術的価値が高い学術論文を含む。)
- 1-4. この他に、編集委員会が認めた場合、上記以外の学術情報を掲載することがある。
2. 審査付き論文以外の記事
上記審査付き論文以外は固定した枠にとられない内容とし、主に各種特集記事、解説、トピックス、学位論文要録、施設だより、学会だより、研究集会だより(国内・国外)、情報プラザなどを掲載する。
3. 審査付き論文(第3条第1項)の投稿規則を第4条以降に定めるが、審査付き論文以外の記事(第3条第2項)に関する投稿規則は特に定めず、編集委員会の編集方式に従う。また本会の英文の論文誌 *Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences* の発行規則は別に定める。

「放射化学」論文投稿規則

(投稿論文と依頼論文)

第4条 論文は投稿によるものと編集委員会からの依頼によるものとする。

(著者)

第5条 著者は本会会員であることを要しない。

(原稿の作成)

第6条 使用言語は日本語とする。

第7条 投稿論文の作成は、別に定める「放射化学」投稿の手引き(以下、「投稿の手引き」)に従うものとする。

第8条 原著論文、総説論文、短報以外の記事については、第6条、第7条に依らない形で原稿を作成できる。

(論文の受け付け)

第9条 原稿が、「投稿の手引き」に定める「投稿先」に到着した日付けをもって、論文の受付日とする。

(審査)

第10条 編集委員会は、査読者を委嘱して論文の掲載に関する意見を求め、掲載の可否に関する審査を行う。掲載可となった日付をもって受理日とする。投稿によるものと依頼によるものに関わらず、編集委員以外の査読者の意見を参考として、編集委員会が掲載の可否を決定する。

(論文の掲載)

第11条 掲載可となった論文は、速やかに論文誌上および論文誌 web サイトに掲載する。

(掲載料、別刷り)

第12条 論文および各種記事の掲載料は徴収しない。別刷りを作成する場合には実費を著者負担とする。

(原稿料)

(著作権)

第13条 論文誌に掲載された全ての論文等の著作権は本会に帰属する。原著論文、総説論文、短報については、著者は論文受理後速やかに「著作権譲渡同意書」を本会に提出しなければならない。

(本規則の改定)

第14条 本規則の改定には理事会の決定を要する。

付則 この規則は、2015年10月1日から施行する。

「放射化学」論文投稿の手引き

1. はじめに

この「投稿の手引き」は日本放射化学会（以下、本会）和文誌「放射化学」論文投稿規定に基づき、編集委員会にて原稿の作成の指針として制定されたものである。

2. 投稿に際しての注意事項

- 1) 採否が決定するまで同一趣旨の論文を他誌に投稿してはならない。
- 2) 他誌に投稿中の論文を投稿してはならない。
- 3) 投稿後の著者に関する変更は認めない。
- 4) 図版を転載する場合は、著者にて転載許可を著作権者より得ること。
- 5) 投稿原稿は以下の「3. 原稿作成時の注意事項」に従って作成し、その電子ファイル（PDF ファイル、MS-Word ファイルなどが望ましい）を編集委員会に電子メールにより送付する。到着次第、編集委員長より受付日が記載された受け取りの電子メールが送付される。

3. 原稿作成時の注意事項

- 1) (原稿の構成) 原稿は以下の順でそれぞれ改ページして編成する。(1) 表紙（論文題名、著者名、研究の行われた機関、同所在地などを記す）、(2) 要旨およびキーワード（5つ程度）、(3) 本文、(4) 引用文献、(5) 表、(6) 図、(7) 図の説明文。
- 2) (原稿の形式) A4 用紙を縦方向として、横書きに印字し、1 ページに 25 行程度とする。
- 3) (原稿の長さ) 短報以外は制限を設けない。短報は図表を含めて刷り上り 4 ページ以内を原則とする。なお刷り上がり 1 ページは約 2000 字であり、図・表は 1 枚につき 500 字とカウントする。
- 4) (要旨) 要旨として英文要旨（250 語以内）および和文要旨（400 字以内）の両方をつけること。
- 5) (引用の形式) 番号順とする。最初に引用された箇所の順で引用文献を並べる。引用文献の記載方法はアメリカ化学会発行の雑誌と同形式とする。なお本形式は本会の **Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences** 誌と同様である。
- 6) (表) 表は説明も含めて英文で作成する。本文中では **Table** として引用する。
- 7) (図) 図は説明も含めて英文で作成する。本文中では **Fig.** として引用する。なお投稿時のファイルサイズは 10 Mbyte を超えないこと。
- 8) (その他) 図表などの数値や軸の表記では物理量 / 単位の形式をとることとし、物理量（単位）の表記は用いない。（例：Time/min とし、Time (min) は用いない。）
- 9) (カラーの図表) カラーの図表を掲載する場合には、原則として実費を著者負担とする。なお、論文誌 web サイト公開用の PDF 版については無料でカラーとすることができる。
- 10) (注意事項) 上記に著しく逸脱した原稿については、受け付けずに返却することがある。

4. 校正および論文誌発行後の正誤訂正

- 1) 著者校正は 1 回行う。返送期日に著しく遅れた場合には編集委員会の校正のみで校了とする。
- 2) 発行後 6 ヶ月以内に著者から訂正の申し出があった場合には、正誤訂正に関する記事を掲載することがある。

5. 投稿先

〒 351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

理化学研究所 仁科加速器研究センター 羽場宏光 編集委員長

Fax: 048-461-5301

e-mail: houshakagaku@radiochem.org

学位論文要録執筆候補者の推薦について

「学位論文要録」欄では、最近2年間の範囲で博士の学位を授与された会員の方々の学位論文内容を抄録の形で掲載致しております。現代の放射化学およびその関連領域における進歩についての情報を読者の方々に提供することが主な目的であります。しかし、編集委員会が広範な領域で活躍されている執筆候補者につきまして、遺漏なく情報を得ることは困難であります。このため、会員の皆様に同欄の執筆候補者（学位取得者）を推薦いただきたく存じます。自薦・他薦は問いません。詳しくは編集委員会にご照会下さい。

☆☆☆

「会員の声」欄へのご寄稿のお願い

本誌では、学会や学会出版物に関する会員の皆様の意見を掲載するために、「会員の声」欄を設けております。1000字以内（形式自由）におまとめいただき、編集委員会または学会事務局にお送り下さい。掲載の可否につきましては当方にご一任下さい。

☆☆☆

会員の異動に伴う連絡のお願い

会員の移動に伴い、所属、連絡先等に変更が生じた場合には、以下のweb ページを参照し、事務局（jnrs@ac-square.co.jp）までご連絡下さい。

会員情報変更等の手続き：<http://www.radiochem.org/nyukai/shubetsu.html>

放射化学 第33号

平成28年(2016年)3月28日発行

編集

日本放射化学会編集委員会(放射化学担当)

委員長：羽場宏光、委員：桐島 陽、齊藤 敬、佐藤 渉、関本 俊、鷺山幸信
連絡先：〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1 理化学研究所仁科加速器研究センター
羽場宏光 (e-mail: houshakagaku@radiochem.org)

発行

日本放射化学会

出版・広報担当理事：高橋嘉夫

Web: <http://www.radiochem.org/>

印刷

松枝印刷株式会社

〒303-0034 茨城県常総市水海道天満町 2438

本誌掲載記事の著作権は日本放射化学会に帰属します。

賛助会員

株式会社アトックス

日立アロカメディカル株式会社

キャンベラジャパン株式会社

クリアパルス株式会社

サンゴバン株式会社

大栄無線電機株式会社

株式会社千代田テクノル

東京ニュークリア・サービス株式会社

東北ニュークリア株式会社

長瀬ランダウア株式会社

株式会社日本環境調査研究所

富士電機株式会社

富士フィルム RI ファーマ株式会社

株式会社ラボラトリ・イクイップメント・コーポレーション

公益財団法人 原子力安全技術センター

新潟県放射線監視センター

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

公益財団法人 日本分析センター

公益財団法人 放射線影響協会

一般財団法人 放射線利用振興協会

北海道電力株式会社

東北電力株式会社

中部電力株式会社

中国電力株式会社

九州電力株式会社



公益財団法人 原子力安全技術センター

放射線障害防止法に基づく登録機関業務

登録検査機関

問い合わせ先: 03-3814-7301

使用施設、貯蔵施設、廃棄施設等の施設検査・定期検査及び定期確認

登録定期確認機関

登録運搬物確認機関

問い合わせ先: 03-3814-7483

承認容器による輸送の運搬物確認

登録運搬方法確認機関

承認された積載方法による輸送の運搬方法確認

登録認証機関

問い合わせ先: 03-3814-7301

放射性同位元素装備機器の設計認証



登録資格講習機関

問い合わせ先: 03-3814-7100

第1種、第2種及び第3種の放射線取扱主任者免状取得のための講習

登録試験機関

問い合わせ先: 03-3814-7480

第1種及び第2種の放射線取扱主任者試験

登録定期講習機関

問い合わせ先: 03-3814-5746

放射線取扱主任者の資質向上のための講習

私たちは放射線障害防止法に基づく登録を受け、国に代わり、法令で定められた資格要件を備えた検査員、確認員、講師等によって業務を行っています。

〒112-8604

東京都文京区白山5丁目1番3-101号 東京富山会館ビル4階

ホームページ <http://www.nustec.or.jp/>

原子力機構は、福島環境回復(オフサイト)や原子炉廃止措置(オンサイト)に向けた技術開発等に取り組んでいます

オフサイトでの取り組み

モニタリング・マッピング

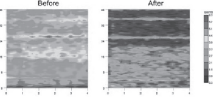


航空機モニタリング



PSFによる測定の様子

プラスチック・シンチレーション・ファイバ(PSF)による陸上モニタリング



測定結果

福島長期環境動態研究プロジェクト(F-TRACE)



ダム調査



移動抑制等対策の検討



移動予測モデルの開発

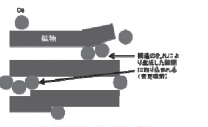
放射性物質が環境中でどのように移動するのか、長期にわたって調査、予測、評価し、被ばく線量の軽減につなげていく

軽口採取(円形採取)

吸入(内呼吸ばく)

径ばく検査評価システムの開発

放射性セシウムの特殊な吸着挙動を解明



汚染土壌と植物との相互作用



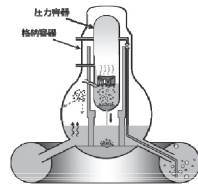
植物の根と土壌との相互作用

放射性セシウムの吸着メカニズムを解明し、土壌中の放射性セシウムの効率的な除染活動に寄与する

オンサイトでの取り組み

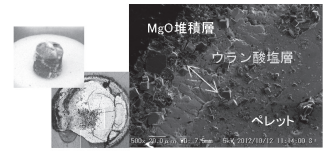
廃止措置等に関する研究開発

原子炉内部の状況を把握するための研究



事後の原子炉のイメージ図

溶融固化した燃料(燃料デブリ)の取り出しに向けた研究



海水塩とともに加熱した模擬デブリペレット

福島県に、「遠隔操作機器・装置開発・実証施設」及び「放射性物質分析・研究拠点」を整備し、福島第一原子力発電所の廃止措置等に向けた研究開発を遂行します。



- 原子炉格納容器下部の漏洩箇所補修技術の実証試験
- 遠隔操作ロボット等の開発実証
- 作業員の訓練、人材育成



- 燃料デブリや放射性廃棄物の性状把握、処理・処分技術等の開発
- 中長期的視点での人材育成
- 国際共同研究、海外人材の受入



国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字舟石川765番地1

TEL: 029-282-1122 (代表)

ホームページ: <http://www.jaea.go.jp>



環境放射能、安定同位体比等の分析専門機関です

① 環境放射能に関する分析



セシウム137などのガンマ線放出核種、トリチウム、炭素14、クリプトン85、ストロンチウム90、キセノン133、トリウム、ウラン、プルトニウムなど、あらゆる放射能の分析を行います。

相互比較分析

放射性核種を添加し作製した標準試料等を、分析機関と日本分析センターが分析し、結果を比較検討しています。



② 精度管理

技能試験

玄米を微粉砕して調製した試料を用いて玄米中放射性セシウム分析の技能試験を定期的に実施しています。



③ 環境放射能分析研修

環境放射線モニタリングや食品の放射能分析の担当者を対象とした研修を行います。その他にご要望に応じた研修にも対応可能です。



ISO9001 認証取得 (2000年) ISO/IEC17025 認定取得 (2002年)
ISO/IEC27001 認証取得 (2009年) ISO14001 認証取得 (2010年)
JCSS[放射線、放射能、中性子]登録 (2010年)

JCAC 公益財団法人
Japan Chemical Analysis Center 日本分析センター

問合せ先

公益財団法人 日本分析センター 企画・総務部
http://www.jcac.or.jp e-mail webman@jcac.or.jp

〒263-0002 千葉県千葉市稲毛区山王町295番地3
電話：043-423-5325 FAX：043-423-5372

放射線分野における科学技術の進展に貢献しています



～主な業務～

- 放射線影響等に関する知識の普及
- 放射線影響等に関する調査研究
- 放射線影響等に関する調査研究に対する奨励助成、顕彰
 - ICRP調査・研究連絡会の運営
- 原子力施設等で働く放射線業務従事者の被ばく線量の一元的な登録管理
 - 除染従事者等の被ばく線量の一元的な登録管理
 - 放射線管理手帳制度の運用管理
 - 国の指定を受けた放射線管理記録等の保存業務
- 原子力施設等で働く放射線業務従事者を対象にした低線量長期間被ばくによる健康影響の疫学調査

公益財団法人 放射線影響協会

〒101-0044 東京都千代田区鍛冶町1-9-16 丸石第2ビル5階
TEL 03-5295-1481 FAX 03-5295-1486 http://www.rea.or.jp

放射線従事者中央登録センター

TEL 03-5295-1786 FAX 03-5295-1486

放射線疫学調査センター

TEL 03-5295-1494 FAX 03-5295-1485

放射線利用事業の振興と
原子力の利用に係る知識及び技術の普及を振興するために

◆ 放射線・原子力利用の普及事業

- ・ 技術誌「放射線と産業」の刊行
- ・ 「放射線プロセスシンポジウム」の支援

◆ 照射サービス事業

- ・ ガンマ線・電子線照射：材料の耐放射線性試験、材料改質などいろいろな照射ニーズに応えます
- ・ 中性子照射：シリコンの半導体化

◆ 技術移転事業

- ・ 産業界からの中性子利用のいろいろなニーズに応えます

◆ 原子力研修事業

- ・ 第3種放射線取扱主任者講習
- ・ 教員免許状更新講習
- ・ 放射線業務従事者のための教育訓練
- ・ 原子力・放射線に関する研修会の開催

一般財団法人放射線利用振興協会

<http://www.rada.or.jp>

本部・東海事業所：〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4 TEL 029(282) 9533
高崎事業所：〒370-1207 群馬県高崎市綿貫町1233 TEL 027(346) 1639

敵し、

みやこ

メイトナング。



原子力発電所、原子燃料サイクル施設などの管理、保安に携わってきたアトックス。その高度な技術とノウハウの蓄積をもとに、RI関連施設分野でも広く社会に貢献しています。大学、研究機関や製薬メーカーなど、RI等使用施設における放射性汚染除去、廃棄物処理、放射線管理から施設、設備の運転、点検保守まで、トータルメンテナンスを提供。人と地球の未来のために、安全で快適な環境を守るアトックスです。

＜業務内容＞

- 原子力発電関連施設・原子燃料サイクル施設のトータルメンテナンス
 - 放射線管理
 - 放射性汚染除去
 - 廃棄物処理
 - ランドリー
 - 清掃・区域管理
 - 設備・装置運転・点検保守
 - 輸送
 - 分析
 - 各種工事 など
- RI等使用施設のトータルメンテナンス
 - 作業環境測定
 - 放射性汚染除去
 - 廃棄物処理
 - 管理区域内清掃
 - 施設、設備運転・点検保守
 - 加温器運転
 - フィルター交換
 - 各種工事
 - 機器販売、同体販売、モニタ販売 など



株式会社アトックス

URL: <http://www.atox.co.jp/> <http://www.atox-isotope.jp/> (同体体販売)

● 本社：〒108-0014 東京都港区芝4-11-3 芝7コートビル TEL (03) 6758-9000 FAX (03) 3453-3821
 ● 東京営業所：〒108-0014 東京都港区芝4-11-3 芝7コートビル TEL (03) 6758-9005 FAX (03) 3453-3822
 ● 技術開発センター：〒277-0861 千葉県柏市高田1201 TEL (04) 7145-3330 FAX (04) 7145-3649
 ● 放射線管理センター：〒1029-2822 東京都中央区新富1-13-1 TEL (029) 282-1662 / 大洗営業所 TEL (04) 7141-1321
 ● 放射線管理センター：〒106-6384 東京都港区新富1-13-1 TEL (078) 599-6851 / 沼津営業所 TEL (0955) 52-3241

AccuFLEX LSC-8000

HITACHI
Inspire the Next

ALOKA
illuminate the change

Accuracy and Flexibility

様々な場面で求められる測定結果を提供する
スピーディーに、効率よく、正確に。
その想いを込め AccuFLEX LSC-8000 が誕生しました。

1962年 国産初の
液体シンチレーションシステム開発から約50年

従来製品より培われた性能・機能に、
当社の英知と先進技術を合わせ充実した
分析性能、メカニカル性能をここに実現しました。
みなさまの研究のパートナーとして、
先進技術のパフォーマンスを実感してください。



日立アロカメディカル株式会社

〒181-8622 東京都三鷹市牟礼6-22-1 計測システム営業部 0422-45-5131

www.hitachi-aloka.co.jp

札幌営業所 (011)722-2205 六ヶ所営業所 (0175)71-0811 仙台支店 (022)346-9520 新潟営業所 (025)241-8171 水戸支店 (029)255-1811 福島営業所 (024)555-6401
名古屋営業所 (052)805-2660 福井営業所 (0776)43-1480 掛川営業所 (0537)29-7010 大阪支店 (06)4861-4888 松山営業所 (089)969-6811 高松営業所 (087)866-6012
広島支店 (082)292-0019 松江営業所 (0852)25-5649 鳥栖営業所 (0942)87-9111

キャンベラジャパンの放射能測定システム



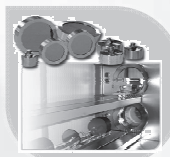
放射線測定の基礎から応用まで
広範で卓越した製品を提供しています。



ゲルマニウム半導体検出器



InSpector1000™ : 可搬型
デジタルスペクトロサベイメータ



PIPS 荷電粒子検出器



ISOCST™ :
ガンマ線分析システム



FASTSCAN™ :
ホールボディカウンタ

A
CANBERRA
キャンベラジャパン株式会社

放射線測定における世界的リーディングカンパニー

東京本社 東京都台東区浅草橋4-19-8 浅草橋ビル 〒111-0053 TEL: 03-5835-5402
大阪営業所 大阪市淀川区西中島5-14-5 コッセ新大阪南口ビル9F 〒532-0011 TEL: 06-4806-5662
URL: <http://www.canberra.com/jp/> E-mail: sales-jp@canberra.com

クリアパルス（株）が提供する主要製品

自社開発のハイブリッドICを用いた低雑音プリアンプ
 低雑音スペクトロスコープ用プリアンプ
 高性能パルスハイトアナライザ

多チャンネルプリアンプ、多チャンネルプリアンプ、多入力PHA

CdTe検出器プローブ、CsI(Tl)検出器プローブ、NaI(Tl)検出器プローブ、プラスチック検出器プローブ

電離箱、環境モニタ、高圧バイアス電源、NIMビン電源、ミニビン電源

電流電圧変換器、マルチワイヤビーム位置モニタ回路

加速器制御機器、信号変換器、アナログ/デジタル制御器

データ計測・収集・転送システム

その他物理計測器、特注機器



8630型ハンドボーン



8868A型IVC



580型プリアンプ



4066型アンプ



1216型PHA



6671型バイアス電源



E6660ミニビン電源



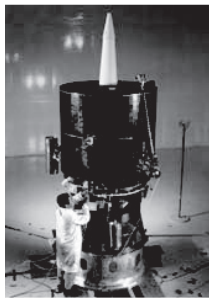
80110型プリアンプ



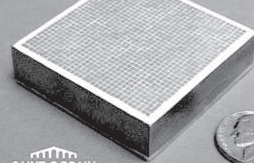
80112型MPX



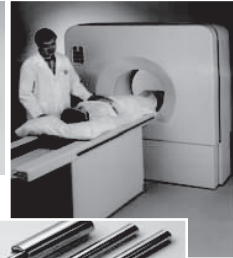
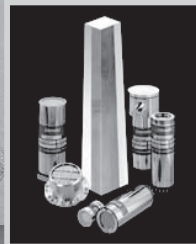
LYSO、LaCl₃、LaBr₃、NaI、CsI、BGO、CdWO₄、ZnS、YAG ...
 プラスチック、ファイバー、液体シンチレータ、アレイ状シンチレータ、
 ライトガイド、GM管、比例計数管、³He検出器等
 サンゴバンは、素材からプローブ・特殊用途まで、
 グローバル・スタンダードな最高品質のシンチレータを提供いたします。



イメージング用アレイ



SAINT-GOBAIN CRYSTALS



シンチレーションファイバー



プラスチックシンチレータ



サンゴバン株式会社

〒102-0083 東京都千代田区麹町 3-7

Tel 03-3263-0559 Fax 03-5212-2196

URL <http://www.detectors.saint-gobain.com/>

お問合せ yasuo.watanabe@saint-gobain.com

(担当 渡辺)

WISSO | メスバウア用測定装置システム

低価格でPCとMCS/PHAモジュールでメスバウア簡単測定
CMCA-500/550
 IBM PC/AT用メスバウア測定MCAモジュール

【特徴】

- MCSモード
- 外付ADCモジュールなしでPHA測定可能 (CMCA-550のみ)
- MCS [window] モードで外付SCAモジュールなしで、設定されたエネルギー範囲のパルスのみをメスバウアデータとして取得可能 (CMCA-550のみ)
- Windows用プログラムWISSOFT2003 (標準添付) で、パソコン制御
- バックグラウンドでデータ取得可能
- 外部電源なしでデータを保持
- インターフェース USB/RS-232C

【仕様】

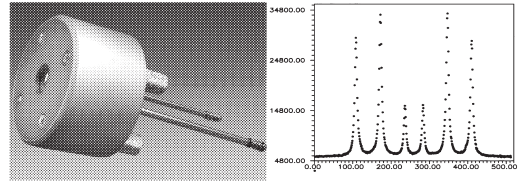
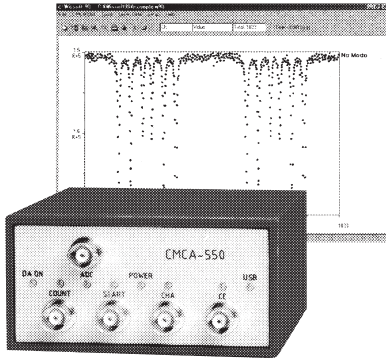
入力: COUNT, START, CHA, COUNT ENABLE, ADC (CMCA-550のみ)

MCS部:

- ・最大カウント周波数 > 100MHz
- ・チャンネル数 最大8192ch
- ・最大チャンネルアドバンス周波数 約500kHz

ADC部 (CMCA-550のみ):

- ・変換ゲイン 8kch
- ・完全デジタルピーク検出
- ・サンプリング周波数 48MHz



RiKon-5 CEMS Detector

【特徴】

- 測定温度範囲 100K~室温
- 入射γ線方向 0°~60°可能
- サンプルの交換が簡単
- 薄いフィルムや表面層の試験に相当
- 箔、粉末、結晶などのサンプルの測定が可能
- 優れたSN比、高いカウントレート
- 優れたエネルギー分解能
- 低温でもガスフローを保証
- ガスフローを維持すれば、長期の測定に相当
- X線測定も可能

NORMOSパッケージ:

メスバウアFittingプログラムSITE、DIST (SITE、DIST個々のご注文も承ります)

日本総代理店

DMD 大栄無線電機株式会社

〒101-0021 東京都千代田区外神田3-10-10
 ☎03-3255-0931(代) FAX03-3255-9869
 E-mail sales@daiei-dmd.co.jp



個人線量測定サービス

お客様の安全と安心に貢献します

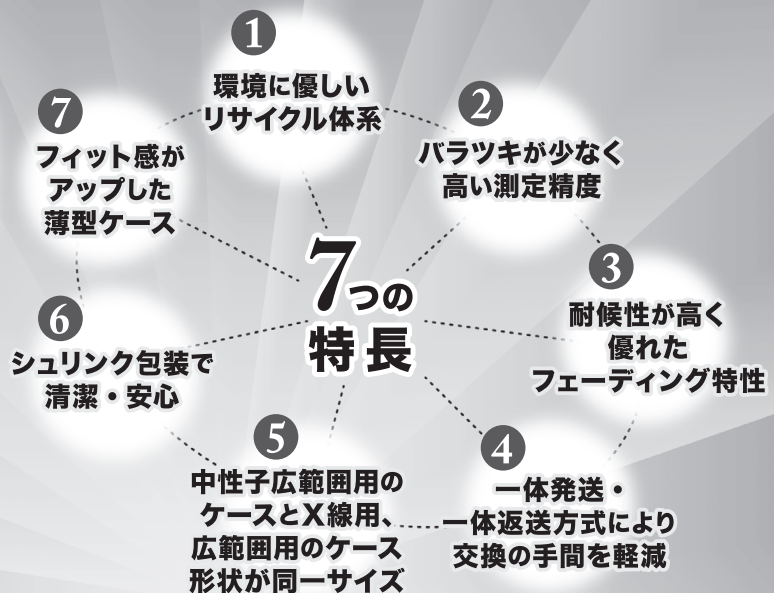
ガラスバッジモニタリングサービス



ガラスバッジ



ガラスリング



株式会社 **千代田テクノ** 営業部 <http://www.c-technol.co.jp>

〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル TEL 03(3816)1163 FAX 03(5840)6038

ガラスバッジ

検索

TNSは エネルギーエンジニアリングの あらゆるステージで あなたをサポートします。

TNSは原子力・アイントープに関する高度な知識と技術を駆使し、設計から施設の廃止にいたるまでのあらゆる段階でサポート業務を展開するとともに、先端技術分野における研究・開発においても、質の高いサポートを提供いたします。



安全設計・評価

- 施設設計
- 遮蔽設計
- 安全評価
- RII施設の申請業務代行

施設の管理・運営

- 大規模施設の運用管理
- 放射線管理

研究及び技術開発サポート

- 研究サポート
- 技術開発サポート

受託試験研究


- 環境物質の分析
- 環境物質の挙動解析
- トレーサ試験
- 解体廃棄物の物理特性試験

工 事

- 施設の保守・点検
- 施設の解体工事
- 施設の改造工事

機器販売

- 放射線管理区域の空調機器の販売
- 放射線管理区域用機器の製造・販売

 **東京ニュークリア株式会社**

東京本社：東京都台東区台東 1-3-5 (反町ビル 7F)
 東海営業所：茨城県那珂郡東海村村松字平原 3129-31
 つくば開発センター：茨城県つくば市緑ヶ原 4-19-2
 大阪事業所：大阪府中央区内本町 1-2-5 (YSK ビル 5F)
 六ヶ所事業所：青森県上北郡六ヶ所村大字尾駿宇野附 1-4

〒110-0016 TEL.03 (3831) 7957
 〒319-1112 TEL.029 (282) 3114
 〒300-2646 TEL.029 (847) 5521
 〒540-0026 TEL.06 (4792) 3111
 〒039-3212 TEL.0175 (71) 0710



個人被ばく線量測定 クイクセルバッジサービス

- ◆ラベルの表記がリニューアルされ、見やすくなりました。
- ◆バッジの形状の変更により、着用感がさらにUP。
- ◆測定原理は、ルクセルバッジと同じOSL線量計を用いています。
- ◆バッジ製造の国内化を実現し、安定供給を可能にしました。



 **長瀬ランドウア株式会社**

本社／〒300-2686 茨城県つくば市諏訪C22街区1 Tel. 029-839-3322 Fax. 029-836-8441
 大阪営業所／〒550-8668 大阪府西区新町1-1-17 Tel. 06-6535-2675 Fax. 06-6541-0931
 ホームページアドレス／<http://www.nagase-landauer.co.jp>

ラジオアイソトープ(RI)取扱施設

RADIOISOTOPE(RI) HANDLING FACILITY

加速器取扱施設

ACCELERATOR HANDLING FACILITY

原子力施設

NUCLEAR POWER FACILITY

放射線モニタリング
施設の総合管理
施設・設備の設計・監理
放射能分析・測定
管理区域解除工事
コンサルタント業務
PET被験者管理システム

放射線管理
除染工事
放射能分析測定
原子力・核燃施設 D&D技術開発・事前調査・工事
コンサルタント業務

特殊施設管理技術の研究開発
放射線防護用品と機器の開発
除染関連技術の研究開発
研究・開発・調査業務の受託

技術開発・研究

TECHNOLOGY STUDY AND DEVELOPMENT

ALARA

As Low As Reasonably Achievable

JAPAN ENVIRONMENT RESEARCH CO., LTD.
 株式会社 **日本環境調査研究所**

ホームページ <http://www.jer.co.jp/>

本社：〒160-0023 東京都新宿区西新宿 6 丁目 24-1
技術開発研究所：〒342-0008 埼玉県吉川市旭 8 番 3
青森営業所：Tel.0175-75-2130 東京営業所：Tel.048-991-9461
仙台営業所：Tel.022-715-6081 静岡営業所：Tel.0537-86-7176
柏崎営業所：Tel.0257-21-4868 掛川オフィス：Tel.0537-28-8181
福島営業所：Tel.0244-26-5245 名古屋営業所：Tel.052-588-5875
茨城営業所：Tel.029-860-5073 大阪営業所：Tel.06-4963-2500

Tel.03-5322-2271 Fax.03-5322-2272
Tel.048-991-9461 Fax.048-991-9460

作業環境測定機関11-4(放射性物質) ISO9001:2008認証

非密封放射性同位元素取扱施設(技術開発研究所)

管工事業/建具工事業/とび・土木工事業/機械器具設置工事業

一般労働者派遣事業 高度管理医療機器等販売業・賃貸業

富士電機の放射線測定器

 富士電機

より正確に より簡単に

富士電機では、放射線管理システムをはじめ、放射線管理における様々な用途に応じた測定器類を取り揃えています。

〔取扱製品〕

放射線モニタリングシステム
RI排水管理システム
出入管理システム
非密封RI管理システム
従事者管理システム

各種サーベイメータ
個人線量計/環境線量計
モニタリングポスト
ホールボディカウンタ
体表面モニタ
食品放射能測定システム
その他



富士電機株式会社 放射線システム部

東京都日野市富士町1番地 〒191-8502 TEL 042-585-6024

<http://www.fujielectric.co.jp/> mail fric-info@fujielectric.co.jp

営業所

北海道 TEL 011-221-5482
東京 TEL 042-585-6024
関西 TEL 06-6455-3891

東北 TEL 022-716-0203
中部 TEL 052-746-1032
九州 TEL 092-262-7844

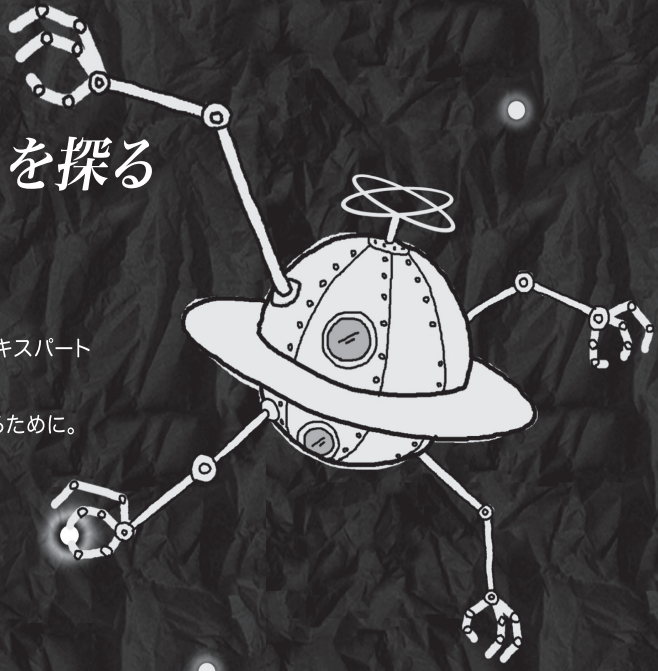
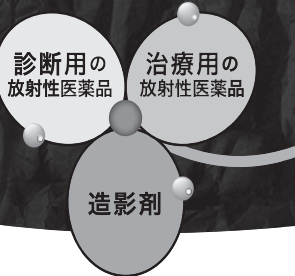
いのち
その“生命”のいとなみを探る

“からだ”は、小さな宇宙に例えられます。
この小宇宙に、大切な“生命”のいとなみを求めて、
私たちは宇宙船を飛ばします。

探る、診る、治す の視点から、ラジオアイソトープのエキスパート
として、明日の医療の可能性を考えています。

それは、患者さん一人ひとりの大切な“生命”を輝かせるために。

私たちは、富士フィルムグループの総力を結集して
医療と健康に貢献してまいります。



富士フィルム RIファーマ株式会社

資料請求先：〒104-0031 東京都中央区京橋2-14-1 兼松ビル TEL.03(5250)2620
ホームページ：http://fri.fujifilm.co.jp

2015年4月作成

www.labo-eq.co.jp



ADC500

変換方式
コンバージョンゲイン

逐次比較型 15 μ sec 固定
512,1024,2048,4096

MCA510

MCA メモリ
カウント容量
インターフェイス

4kch
32bit / ch
10/100 Mbps Ethernet

MCA520

MCA / MCS メモリサイズ
カウント容量
Dwell time
インターフェイス

4kch
32bit / ch
10sec ~ 90sec
10/100 Mbps Ethernet

2100C / MCA



ADC 8kch
ウィルキンソン方式 150MHz
MCA / MCS メモリサイズ 8kch
Windows98 ~ XP 対応ソフトウェア

NT24-DUAL

-マルチパラメータ MCA-
(陽電子消滅測定等に)



ADC 15 μ sec 固定
GAIN 4096ch
MCA 4096ch(最大 8台)
2パラメータ表示 1024 \times 1024
時間情報を付加してのリストモード測定
WindowsXP 対応



(株)ラボラトリ・イクイップメント・コーポレーション

TEL 029-821-6051

FAX 029-821-6054

E-mail nonaka@labo-eq.co.jp

〒300-0034 茨城県土浦市港町 1-7-3

賛助会員はこのスペースに無料で広告を掲載することができます（年2回以上）

日本放射化学会 賛助会員募集

本会の学会活動にご参加頂ける賛助会員をご紹介下さい

連絡先： 日本放射化学会事務局

E-mail: office@radiochem.org