

# 放射化学

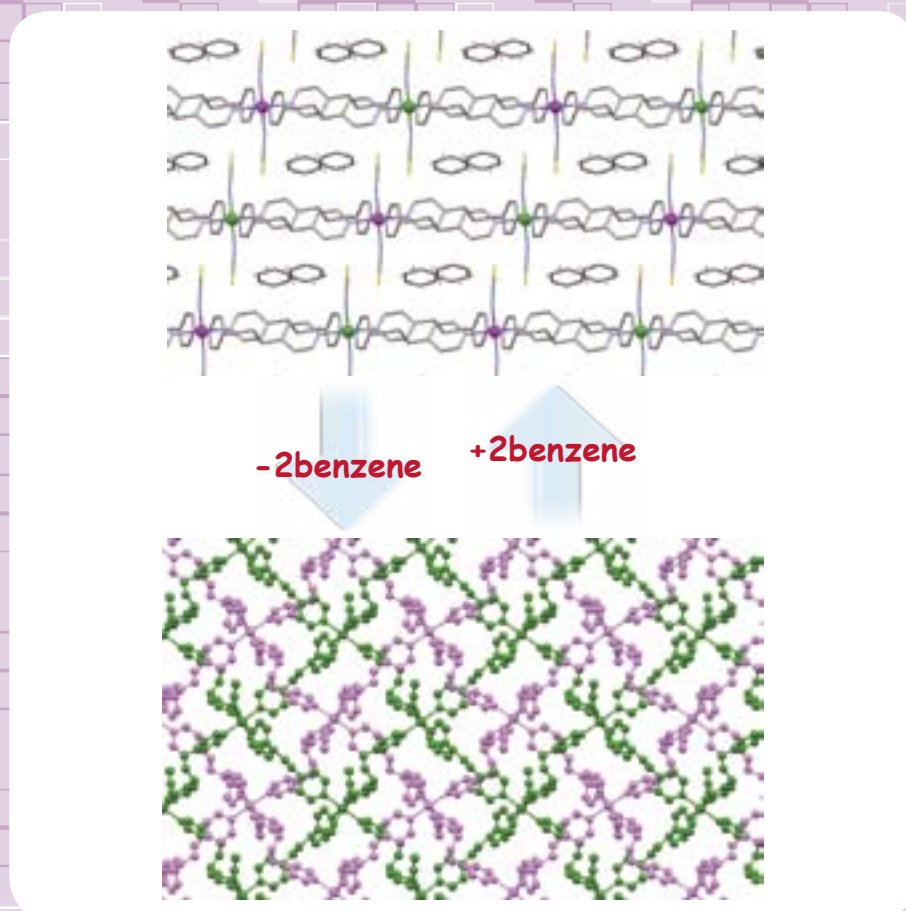
## 第27号

### 総説

集積型鉄二価錯体の集積構造の多様性と構造変化、スピントロニクス挙動の変化／福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムの中での移行挙動とミクロスケールでの不均質性

### ニュース

放射性同位体の生成とその利用から天然における核現象の解明へ／新学術領域研究（研究領域提案型）「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」とその立ち上がり／さまよえるプルトニウム／松竹梅の放射線を見る～イメージングプレートを使った解析～／函館高専物質工学科における放射線等に関する学生アンケート調査



---

# 放射化学

## 第 27 号

平成 25 年 (2013 年) 4 月 30 日

---

### 目次

#### 日本放射化学会会長挨拶

(海老原充)..... 1

#### 総説 (審査付き)

- 集積型鉄二価錯体の集積構造の多様性と構造変化、スピントロスオーバー挙動の変化  
(中島 覚)..... 3
- 福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムの中での移行挙動と  
ミクロスケールでの不均質性 (田中万也) ..... 12

#### ニュース

- 放射性同位体の生成とその利用から天然における核現象の解明へ (柴田誠一) ..... 20
- 新学術領域研究 (研究領域提案型) 「福島原発事故により放出された  
放射性核種の環境動態に関する学際的研究」とその立ち上がり (五十嵐康人) ..... 28
- さまよえるプルトニウム (篠永妙子) ..... 35
- 松竹梅の放射線を見る～イメージングプレートを使った解析～ (箕輪はるか) ..... 45
- 函館高専物質工学科における放射線等に関する学生アンケート調査 (鹿野弘二) ..... 53

#### 研究集会だより

##### 国内

- 2012 年 日本放射化学会年会・第 56 回放射化学討論会 (後藤真一) ..... 63
- 京都大学原子炉実験所「有用放射性トレーサーの開発と利用」専門研究会報告 (高宮幸一) ... 65
- 京大炉専門研究会「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」について (関本 俊) ..... 66
- 第 14 回「環境放射能」研究会 (山形武靖) ..... 68

##### 国外

- ND2013 に参加して (関本 俊) ..... 71

情報プラザ（国際国内会議） .....	73
APSORC13の準備状況 .....	75
学会だより .....	76
「放射化学」論文編集委員会規定 .....	88

賛助会員リスト

広告

---

## 表紙の説明

[Fe(NCX)<sub>2</sub>(bpp)<sub>2</sub>] (X = S, Se, BH<sub>3</sub>; bpp = 1,3-bis(4-pyridyl)propane) におけるベンゼン分子の吸脱着に伴う集積構造の可逆的变化

*anti-gauche* 異性を有する 1,3-ビス(4-ピリジル)プロパン(bpp) で架橋した集積型錯体 [Fe(NCX)<sub>2</sub>(bpp)<sub>2</sub>] は多彩な集積構造をとる。ゲスト分子を包接しない場合、二つのグリッド構造が二次元的に相互貫入した珍しい構造となる。この二次元相互貫入構造が積み重なった集積構造である。ベンゼンを含んだ溶媒を用いて合成すると一次元鎖状構造となり、一次元鎖間にベンゼンが包接される。包接されたベンゼン分子は可逆的に吸脱着される。このベンゼン分子の吸脱着に伴って配位結合の組換えが起こり、ホストの骨格構造が変わる。特に X = BH<sub>3</sub> の場合、ベンゼン分子の吸脱着に伴って集積構造が変化し、それと併せてスピン状態のスイッチングが生じる。

## 会長挨拶

海老原充（首都大学東京）

旧正月も過ぎてしまいましたが、年頭のご挨拶を申し上げます。

昨年9月に永目前会長の後を受けて会長に就任して5ヶ月が経過致しました。

本来ですともっと早くご挨拶申し上げるべきところでしたが、緊急の懸案事項があり、その解決を待つということもあり、遅くなってしまいました。この懸案事項に関しては本ご挨拶の後段で申し上げます。

型どおりになりますが、まずは新会長として、私の任期中の活動等について所信を述べさせていただきます。日本放射化学会が発足してから13年が経過しました。会設立時から議論に加えさせて頂き、この間、会の内側から運営に係わって参りましたが、ここに至って、会も軌道に乗ってきたとの思いを強く持ちます。ここに至るまでには先輩諸先生の不断のご努力があったことはいまでもなく、この点は先ず強調させて頂きたいと思っております。しかしながら、13年が経過して、いろいろな問題点が顕在化してきたことも正直認めざるを得ません。私の任期中にそうした問題点を洗い出し、その中で最重要と判断される課題について解決に向けて取り組みたいと考えています。

学会は言うまでも無く、学会員の利益になって初めてその存在に意味を持ちます。学会員にとって学会から期待できるものは専門分野に関する情報の発信と受信の場が得られることだと思っております。これらに対して学会ができることは、具体的には学会誌の刊行であり、学会（年会）の開催ということになります。前者に対しては後段で述べますので、ここでは後者に対しての私の考えを述べさせていただきます。年会に関しての感想を正直申し上げますと、学会設立によって活発になっ

たかというところ、残念ながら決してそうとはいえない状況にあると思います。むしろ、学会設立前の討論会の頃の方が活発だったようにも思えます。こうした変化に至った理由はいろいろあり、他学会を見ても会員数の減少とそれに伴う活動の停滞や退潮傾向が見られることから、時代の流れなのかもしれません。幸い放射化学という分野はいろいろな学問領域に関わりを持ちます。そうした周辺分野への波及の傾向や流れは時代と共にますます加速されていると思います。そうした現状を重視し、これまでの枠を越えて放射化学をとらえるべきではないかと思っております。年会の運営もこのような認識のもとで活性化に繋げられ方策を模索し、任期中に何らかの結論を出したいと考えています。

学会がおこなえる会員へのもう一つの利益供与の形態が学会誌の発刊だと思います。放射化学会には発足当時から英文論文誌「Journal of Radiochemical and Nuclear Science (JRNS)」と学会のコミュニティ誌「放射化学ニュース」の二つの学会誌を発行してきました。会発足当時は学術団体として学術会議に認知されるためには学術論文誌が定期的に発刊されていることが重要な要件となっていました。学術会議で学術団体と認められると、文科省科学研究費（科研費）申請書の審査員を推薦できることから、会員にとって大きなメリットとなると考えられたのですが、学術会議や科研費の審査制度が大きく変わったことから、このような構図は成り立たなくなりました。そういう事情があるなしにかかわらずJRNSへの掲載論文数の低迷が続き、また、非会員から投稿される論文の質の低下や発刊による会の財政への圧迫という点でもJRNS誌の現行通りの刊行は会としての大きな検討課題となってきていました。

このように、英文論文誌 JRNS の刊行が会員へ利益をもたらしていないという現状を改善すべく、前期理事会と編集委員会では、JRNS 及び放射化学ニュース誌の改革について議論を進めてきました。昨年夏に今後の学会誌出版のあり方についてアンケートを実施し、その結果は昨年度の総会の場において紹介されました。総会では審査付き和文誌の刊行を希望する声もありました。今までの議論に加えてこうした会員の皆様の声も踏まえ、新理事会と編集委員会のもとで議論を進めた結果、本会の学会誌のあり方を以下のようにすることに致しました。

1. JRNS は web でのみの公開とし、冊子体としての刊行はやめる。速報の掲載を積極的に行う。年会の日本語予稿集の supplement は廃止する。国際学会の proceedings 論文は article と同じ位置づけとする。
2. 現行の「放射化学ニュース」を発展的に「放射化学」と改名して発刊する。  
「放射化学」は和文誌とし、ニュース記事のほか、原著論文、総説、速報なども掲載する。これまで通り電子ファイルでの配布を行い、希望者には冊子体を郵送する。

これらの改革を進めた理由として、財政的な理由に加えて、(i) JRNS 誌を会員の英語論文の投稿の場として継続して提供する、(ii) 会員の情報交換の場として有効に機能している和文誌の位置づけを明確にし、優れた依頼総説記事などを積極的に発信する、等を意図しています。特に「放

射化学」誌創設については、次回3月発刊時から査読付き論文を受け入れるべく、JRNS 誌と同様の規定等が定められ、1月1日付で理事会の承認が得られました。「放射化学」誌は当面これまでの「放射化学ニュース」編集責任者として努力されてきた大槻勤会員（東北大）と、学会側から出版・広報担当理事の高橋嘉夫会員（広島大）の協力の下で刊行される予定です。会員諸氏におかれましては、JRNS 誌共々、是非新しい雑誌「放射化学」誌を皆様の研究活動に利用して頂きたいと思えます。会員皆様のご了解とご支持を頂けましたら幸いです。

以上、少し長くなりましたが、今期の活動に関する会長としての活動方針、特に2つの懸案事項について述べさせて頂きました。繰り返しになりますが、学会は会員の利益があって初めて成り立つものだと思います。その認識の基に、年会の活性化と意味ある会誌の刊行を最重要課題と位置づけ、これらの活動に積極的に取り組む所存ですが、何か他にご要望等ございましたらどうぞ積極的にご意見、ご注文をお寄せ下さい。会員の皆様と一緒に、放射化学の重要性を共有しながら、自分の足下を固め、かつ、周辺分野に広くアピールして行きたいと思えます。放射化学会のより一層の発展のためにご協力頂けますよう、なにとぞ宜しくお願い申し上げます。

平成 25 年 3 月 4 日

# 総説

## 集積型鉄二価錯体の集積構造の多様性と構造変化、スピントスオーバー挙動の変化

### A variety of assembled structures and their structural change accompanied by change in spin-crossover phenomena in assembled iron (II) coordination complexes

中島 覚

広島大学自然科学研究支援開発センター

Natural Science Center for Basic Research and Development, Hiroshima University

Satoru Nakashima

#### 要旨

架橋配位子としての 1,2-ビス(4-ピリジル)エタン(bpa)は *anti-gauche* 異性を持ち、1,3-ビス(4-ピリジル)プロパン(bpp)はさらに多くの異性を持つ。これらの架橋配位子を用いて鉄二価錯体の多彩な集積構造を得るのに成功した。bpa 錯体ではゲスト分子を導入することによりスピントスオーバー挙動の発現に成功した。同じ一次元鎖の集積構造であっても一次元鎖の集まり方がわずかに異なる例を紹介した。さらに一次元鎖がらせん状に集積する構造があり、この場合、段階的にスピン変化することを紹介した。bpp 錯体ではベンゼンを包接すると一次元鎖状構造、包接しないと珍しい二次元相互貫入構造となり、ベンゼン分子の吸脱着で集積構造が変化し、それに伴ってスピン状態が変化する例を紹介した。

#### キーワード

スピントスオーバー、メスバウアー分光法、集積型錯体、包接化合物、構造変化、スイッチング

#### Key words

spin-crossover, Mössbauer spectroscopy, assembled complexes, clathrate, structural change, switching

#### 1. はじめに

メスバウアー分光法は  $\gamma$  線を用いて鉄などを含む酸化物や錯体の酸化状態やスピン状態などを研究する有効な手段であり、化学研究に貢献している。メスバウアー分光法が貢献する研究対象の中でスピントスオーバー挙動の研究は大変重要である。スピントスオーバー錯体は、温度や圧力がわずかに変化するとスピン状態が低スピン状態と高スピン状態の間で変化し、基礎、応用の両方で興味深い問題を提出する。<sup>1</sup>

メスバウアー分光法を用いたスピントスオーバー挙動の研究には、光誘起スピン転移(LIESST)や核壊変によるスピン状態変化など重要なものがあるが、多核化の研究も重要である。スピントスオーバー挙動が発現するかどうかは配位子場の大きさで決まるが、その変化が徐々に起きるのか急激に起きるのか等に関して

は、錯体が集まった時の共同効果が重要となる。スピントスオーバー挙動に共同効果を持たせるために高分子となったスピントスオーバー錯体の研究が重要と考えられたが、その進展は芳しくなかった。ところが近年、金属有機構造体(MOF)の研究の進展が華々しく、<sup>2</sup> 集積型錯体のスピントスオーバー挙動が注目されている。集積型錯体のスピントスオーバー挙動の研究は、共同効果を研究するのに非常に良いとともに、結晶を構築してスピントスオーバー挙動を制御することにつながる。

二核錯体、三核錯体と金属を増やした研究の紹介は別の総説に譲り、<sup>3</sup> 本総説では、無限の多核錯体である集積型錯体の構造の多様性とその構造変化、そして構造の違いが及ぼすスピントスオーバー挙動の変化を紹介する。

## 2. スピントスオーバー錯体

金属錯体は物性発現の源となる金属とデザイン可能な有機配位子からなり、究極の有機-無機複合材料ともいえる。物性発現は金属イオンのd電子で決まり、有機配位子を変えることによりスピン状態などが変化し、物性制御が可能となる。図1に示すように、d軌道は5個あり、配位子場によって分裂する。例えば、正八面体場であれば、3つの $t_{2g}$ 軌道は相対的に安定化し、2つの $e_g$ 軌道は不安定化する。この分裂の大きさは配位子場によって決まる。この分裂したd軌道に複数の電子を詰める際は、フントの規則に従って電子を詰めるが、 $d^4 \sim d^7$ では問題が生じる。1~3番目の電子は3つの $t_{2g}$ 軌道の一つずつ同じ向きで入るが、4~7番目の電子をどのように詰めるかが問題になる。配位子場分裂が小さいときは、 $t_{2g}$ 軌道の一つの軌道に2つの電子を入れると電子間の反発があるため、わずかにエネルギーの高い $e_g$ 軌道に同じ向きで入れる方が安定となる。このような状態を高スピン状態という。一方、配位子場分裂が大きい場合、電子間の反発を考慮しても配位子場によってエネルギーが低くなった $t_{2g}$ 軌道に4~6番目の電子をスピンの向きを逆にして入れる方が安定となる。このような状態を低スピン状態という。配位子場分裂が大きくもなく小さくもない中間的な場合、どちらの状態を取るのが問題となる。この場合、温度や圧力がわずかに変化するとその状態が一方から他方へ変わり、その変化に関係した興味深い問題を提出する。このような挙動をスピントスオーバー挙動と呼ぶ。なお、ここではスピン平衡とスピン転移を区別せずに議論する。

ここで考える鉄二価錯体はd電子を6個持ち、配位子場が小さいと高スピン状態 ( $S=2$ )、大き

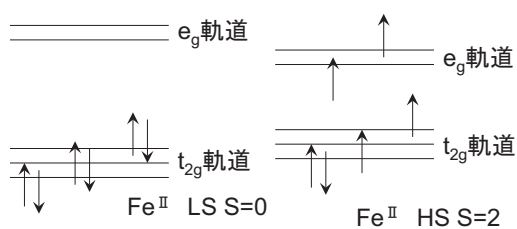


図1 配位子場分裂の大きさとFe(II)のスピン状態

いと低スピン状態 ( $S=0$ ) となる。そして、中間的な配位子場では、外場により、高スピン状態となったり、低スピン状態となったりする。すなわち、Fe(II) 錯体の場合、スピンを持つ状態 ( $S=2$ ) と持たない状態間 ( $S=0$ ) で変化するのでオン・オフの分子スイッチとなりうる。スピン状態が変わると、色、磁性、分子構造の変化も認められるので、基礎のみならず、応用の面からもその研究が重要となる。

## 3. 結晶の構築

結晶構造は、構成する分子やイオンが規則正しく積み重なって構築される。このような分子やイオンをビルディングブロックと呼び、このビルディングブロックがどのように積み重なるかが重要である。金属には、剛球が面心立方格子、六方最密格子のような最密充填構造の他に体心立方格子がある。イオン結晶であっても、陽イオンと陰イオンの半径比や共有結合性の寄与の程度により、岩塩構造であったり、塩化セシウム構造であったりが決まる。このように球形の金属やイオンであってもいくつかの構造が存在する。

それでは複雑な分子性の結晶はどうだろうか。複雑な分子構造に係らず、実際にできる構造にさほど多様性はない。勿論、多形は存在するが、熱力学的に最安定構造をとる傾向がある。単核錯体を用いて結晶を構築して電子状態、スピン状態を制御しようとしても、得られる構造は無限にあるように思えるが、実際に得られる構造には限りがある。錯体の場合も多形はさほど多くはない。

架橋配位子を用いると、架橋配位子は溶液中で金属と配位結合を形成しながらより安定な構造を捜し求め、集積構造が得られる。アニオンを変えることにより、また、架橋配位子を変えることにより配位子場が変わるだけでなく、微妙に集積構造を変えることができる可能性がある。架橋配位子の形などに依存して、一次元鎖や二次元グリッドが得られる。この一次元鎖や二次元グリッドがビルディングブロックとなって集積構造が構築される。一次元鎖が集積する場合について考える。イメージを膨らませるため、たくさんの箸を円柱状の容器に収める場合を考える。架橋配位子によっては円柱状の箸のような形となり得て、

そのような箸を円柱状の容器にしまう場合はより密な構造が比較的容易に得られると考えられる。一方、架橋配位子によっては割る前の割り箸のような一方が平たい四角柱となりえる。この割り箸を円筒の容器に入れると、一次元方向にそろってはいるが、平たい方向は任意の方向を向き得る。この平たい面の揃え方にはいろいろある。このような様々な一次元鎖構造と、さらには、一次元方向にそろわない可能性もあり、その例についても紹介する。

金属と配位子の結合エネルギーは共有結合やイオン結合ほど強くはないが、水素結合などよりも強い。このように中間的な結合エネルギーを持つため、錯体は触媒として使われることがある。集積型錯体では、結晶内でさほど強くない金属-配位子の結合が切れて新しい結合を作る可能性がある。集積型錯体の結晶中で配位結合が切れて新たな配位結合が形成されれば、構造変化が生じ、それに伴ってスピン状態が変化する可能性がある。それについても紹介する。

#### 4. *anti-gauche* 異性を持つ架橋配位子を用いた集積型錯体

溶液中で集積型錯体を合成すると、架橋配位子が金属を認識しながら、より安定な構造を探してMOFが構築される。鉄二価錯体の場合は、六配位が一般的であるために、無限のMOFを構築すると、空孔が生じ得る。このような錯体を多孔性集積型錯体と呼ぶ。この空孔を積極的に利用して物性制御することは結晶エンジニアリングの立場から大変興味深い。また、配位子を工夫することによりその結晶構造の次元性も制御可能となり、その結果空孔の大きさや形も変わってくる。さらには、配位子そのものに機能性を持たせることもできる。多孔性集積型錯体の興味は、この空孔を利用して中心金属の電子状態、スピン状態を制御することでもある。

大変多くの集積型錯体の研究があるが、架橋配位子に *anti-gauche* 異性を持つものを用いればさらに構造の多様性が期待される。例えば、1,2-ビス(4-ピリジル)エタン (bpa) を図2に示すが、*anti*異性では、配位の方向が180度違うのでグリッド格子を作ることが期待される。一方 *gauche* 異

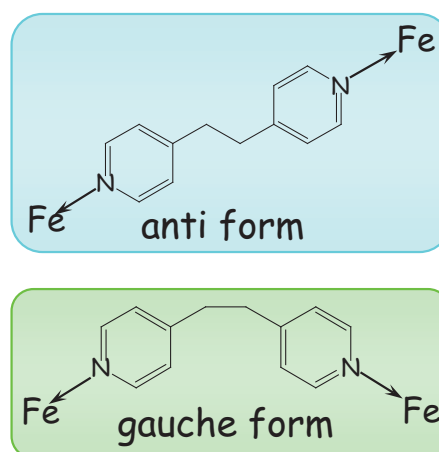


図2 bpaの *anti* と *gauche* の配位様式

性ではその角度が小さくなり、二つのbpaで架橋した一次元鎖が期待される。この *anti-gauche* 異性間の変化が集積構造の変化となって現れることが期待され、集積構造の多様性だけでなく、集積構造間の構造変化など、さらなる展開が期待される。そして、この構造変化や空孔の利用によりスピントスオーバー挙動を制御できないだろうか。

#### 5. $[\text{Fe}(\text{NCX})_2(\text{bpa})_2]$ ( $\text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{BH}_3$ ) の溶媒分子包接体の構造変化<sup>4</sup>

上記のことを期待してbpaを用いて集積型錯体を合成すると、*anti-gauche*の異性を反映した多彩な集積構造が得られた(図3)。すなわち、*gauche*異性からは一次元鎖状構造が、*anti*異性からは二次元グリッド構造、そしてこの二次元グリッドの空孔をお互いに埋めあう相互貫入構造が得られた。一次元鎖状構造では溶媒分子は包接しなかったが、二次元グリッド構造、相互貫入構造では溶媒分子が包接された。

これらの集積型錯体は高スピン状態のみを示したが、メスバウアースペクトルの四極分裂値に大きな違いが見られた。これは電場勾配の逆転の可能性を示唆した。

さらに、溶媒を包接した相互貫入構造は不安定で空气中に放置しておくことにより溶媒が脱離して結晶が壊れた。この変化を粉末X線回折とメスバウアー分光法で追跡した結果、一次元鎖状構造となっていることが分かった。すなわち、溶





図3  $[\text{Fe}(\text{NCX})_2(\text{bpa})_2]$  ( $\text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{BH}_3$ ) でみられる多彩な集積構造

媒分子が脱離すると相互貫入構造を維持することができず、結晶中で金属-配位子の結合が切れて新たな結合ができ、一次元鎖状構造となったことを示す。

## 6. $[\text{Fe}(\text{NCX})_2(\text{bpa})_2]$ ( $\text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{BH}_3$ ) のゲスト分子包接によるスピントロニクス挙動の発現<sup>5,6</sup>

溶媒分子を包接することにより得られた集積構造は溶媒分子の脱離によりその構造を保てない。そこで、溶媒の代わりにビフェニルなどの有機物を包接させれば、ゲスト分子の脱離は容易ではないので、相互貫入構造などの構造を保てると考えた。

錯体を作る際、様々な有機分子を共存させて拡散法を行うことにより、有機分子を包接した集積型錯体の合成に成功した。得られた集積構造は、有機物を包接させない場合と同様に、一次元鎖状構造、二次元グリッド構造、相互貫入構造に分類された。そして、これらの構造は安定であった。空孔に有機分子を導入した錯体では、液体窒素に浸すことによりその色が大きく変わった。この色変化は、磁化率測定とメスバウアースペクトルの測定により、スピントロニクス挙動を

反映していることが分かった。スピントロニクス挙動には構造によりそれぞれの特徴が見られた。すなわち、相互貫入構造では転移温度が低く半分の鉄がスピントロニクス挙動を示した。二次元グリッド構造ではすべての鉄がスピントロニクス挙動を発現したが、その変化は緩やかであった。さらに一次元鎖状構造ではすべての鉄がスピン変化し、その変化は急激なものであり、アニオンによっても挙動が異なった。特に、biphenylを包接した一次元鎖状構造をとる  $\text{NCBH}_3$  錯体ではヒステリシスを示した。スピントロニクス挙動の転移温度は、二価高スピン状態の四極分裂値と関係があり、さらにアニオンが  $\text{NCS} \rightarrow \text{NCSe} \rightarrow \text{NCBH}_3$  と変わると、高くなる傾向が認められた。これはこの順番で配位子場が大きくなることを示す。

一次元鎖状構造について詳しく見る。biphenylを包接した  $\text{NCBH}_3$  錯体ではヒステリシスが観測された。ヒステリシスの発現は鎖間の相互作用の違いを反映すると考えられるので、そのパッキングを比較する(図4)。どのように集積したかを推測してみる。一次元鎖は、溶液の中で *gauche*-bpaが配位しながら一次元方向に伸び、アニオンが一次元鎖に対して垂直に配位してできる。この一次元鎖がどのように集まるだろうか。必ずしも正しくないかも知れないが、まず鎖が集まって平面を作ると推定される。そして、この平面が積み重なって集積構造ができる。それぞれの集積構造はよく似ているが微妙に異なる。 $[\text{Fe}(\text{NCBH}_3)_2(\text{bpa})_2] \cdot \text{biphenyl}$  の場合、bpaは平面内にあり、 $\text{NCBH}_3$ は平面から立っている。 $[\text{Fe}(\text{NCSe})_2(\text{bpa})_2] \cdot \text{biphenyl}$  では、bpaが少し平面からずれている。

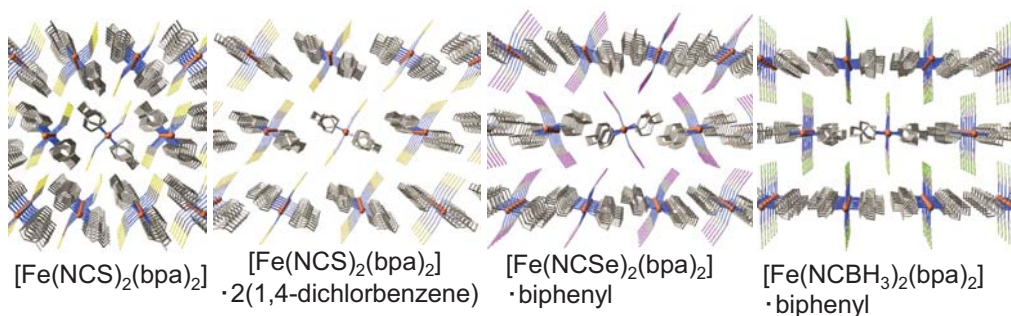


図4 bpa 錯体の様々な一次元鎖状構造。ゲスト分子は省略している。

[Fe(NCS)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>]·2(1,4-dichlorobenze) では、bpa がもう少し平面からずれている。スピン変化を示さない [Fe(NCS)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>] ではさらに平面からずれている。[Fe(NCBH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>]·biphenyl では、NCBH<sub>3</sub> が層と層の間に入り込んで層間の相互作用が他のものに比べて大きくなっており、そのためヒステリシスが観測されたと考えられる。[Fe(NCSe)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>]·biphenyl や [Fe(NCS)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>]·2(1,4-dichlorobenze) では層と層の間の相互作用が小さい。この層間の相互作用が小さいため、[Fe(NCSe)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>]·biphenyl や [Fe(NCS)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>]·2(1,4-dichlorobenze) ではヒステリシスが見られず比較的広い温度範囲でスピン変化が観測されたと考えられる。

### 7. [Fe(NCBH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>]·biphenyl のらせん構造と段階的スピントロニクス挙動<sup>7</sup>

一次元鎖が集まった平面が集積するとき、[Fe(NCBH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>]·biphenyl において、その平面から立っている NCBH<sub>3</sub> の立体的な効果のため、一次元鎖状構造しか得られない。このように、[Fe(NCBH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>]·biphenyl は一次元鎖状構造が主として得られるが、この物質には多形が数種類あり、そのうちのひとつとしてらせん構造の結晶を見つけた。らせん構造の結晶を得るには結晶の成長速度が重要であることが分かっているが、現在でも、その条件を検討中である。単結晶が得られたので X 線構造解析を行った。その結果を図5に示す。鎖状の [Fe(NCBH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>]·biphenyl が集まって一つの平面を構成し、その上の平面は

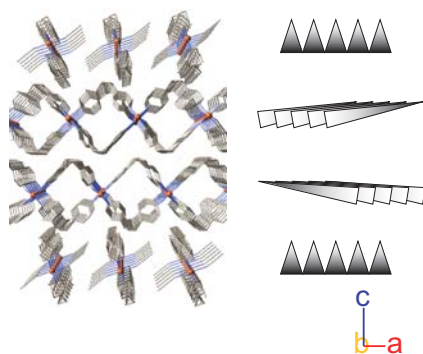


図5 [Fe(NCBH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>]·biphenyl のらせん構造(左) 右は一次元鎖が伸びている方向を模式的に示す。

120度ねじれており、さらにその上の平面は120度ずれ、そしてその上の平面は最初の平面と同じ方向を向いていることが分かった。すなわち、3回らせん軸が存在する。

このらせん構造の作り方について考える。まず、鎖が集まって平面を作る。この場合、先ほどの1次元鎖状構造と異なり NCBH<sub>3</sub> は平面内にあり、bpa が平面から立っている。すなわち、先ほどの1次元鎖状構造と逆になっている。この立った bpa は上下の層で貫入することはなく、ある平面の上に、次の平面は120度ねじれて積み重なることが可能になる。さらに次の平面は120度ねじれて積み重なり、らせん構造となる。

らせん構造の錯体の磁化率を図6に示す。興味深いことは、段階的にスピントロニクス挙動を発現することである。図6中の矢印で示した温度で X 線構造解析を行った。Fe-N の距離がスピン状態を反映するが、単にその長さがスピン状態を反映して変化するのみであった。この系の特徴として、LIESST 現象が見られ、この準安定状態は150K 付近まで存在した。

違った錯体であるが、一次元鎖が集まった平面が90度ずつずれながら積み重なった結晶構造の例もあり、その場合も段階的なスピン変化を引き起こす。<sup>8</sup> このような集積の仕方と段階的なスピン変化には何か関係がありそうだが、どうして上記のようならせん構造をとるのか、そしてこのような構造をとるとなぜ段階的なスピン変化を示すのかなどを今後明らかにする必要がある。

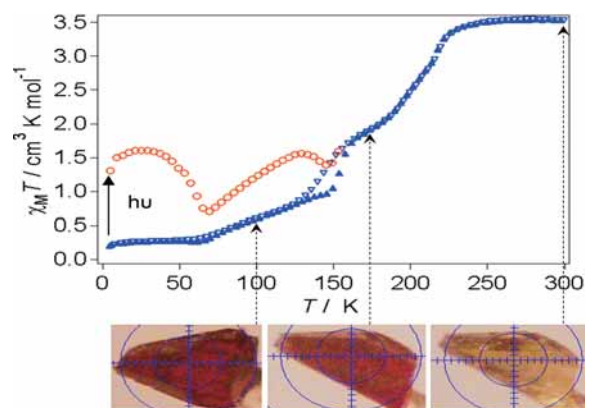


図6 らせん構造の [Fe(NCBH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(bpa)<sub>2</sub>]·biphenyl の磁化率と色変化

## 8. $[\text{Fe}(\text{NCX})_2(\text{bpp})_2]$ ( $\text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{BH}_3$ ) の二次元相互貫入構造とスピנקロスオーバー挙動<sup>9,10</sup>

bpa のメチレン鎖を一つ伸ばした 1,3-ビス(4-ピリジル)プロパン (bpp) に架橋配位子を変えることにより、配座が *anti-anti*, *anti-gauche*, *gauche-gauche* などさらに多彩となる。その結果、さらに多彩な集積構造が期待される。図7に示すように、2枚のグリッド構造が二次元的に相互貫入し、それらが積み重なった大変珍しい集積構造を得た。これを二次元相互貫入構造と呼ぶ。一方、合成溶媒の一つとしてベンゼンを用いると、ベンゼンを包接した一次元鎖状構造を得た(図7)。

ベンゼンを包接した一次元鎖状構造では、アニオンが NCS, NCSe,  $\text{NCBH}_3$  すべてで高スピン状態のままであった。一方、二次元相互貫入構造では、アニオンが NCS の場合は高スピン状態のまま、NCSe の場合は一部スピנקロスオーバー挙動を示し、 $\text{NCBH}_3$  の場合はすべての鉄がスピנקロスオーバー挙動を示した。この傾向は、bpa 錯体でも見られたように、 $\text{NCS} \rightarrow \text{NCSe} \rightarrow \text{NCBH}_3$  の順番に配位子場が大きくなることを示す。

この系では、ベンゼン分子の可逆的な吸脱着がみられるとともに、可逆的な集積構造の変化も見られた(図7)。この可逆的变化を、重量測定、TG-DTA、磁化率測定、粉末 X 線回折、メスbauer分光法を用いて追跡した。その構造変化は、ベンゼンが脱離したときの空孔をどのように埋めるか、逆にベンゼンを包接したときは *anti-gauche* の安定性から議論した。アニオン

が  $\text{NCBH}_3$  の場合、ベンゼン分子の吸脱着に伴う集積構造の可逆的な変化に伴ってスピン状態をスイッチさせることに成功した。

このベンゼン吸脱着による構造変化について考察した。このような構造変化が起きるためには配位結合が一度切れて新たな結合ができなければならない。まず、一次元鎖状構造から二次元相互貫入構造への構造変化について  $[\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2] \cdot 2(\text{benzene})$  を例に議論する。ベンゼンが脱離し、配位結合が切れた架橋配位子 bpp は比較的長いために(一次元鎖状構造で配位している状態の  $\text{Fe}-\text{Fe}$ : 11.675 Å)、隣の一次元鎖の一番近い金属 ( $\text{Fe}-\text{Fe}$ : 9.551 Å) ではなく、二番目に近い金属 ( $\text{Fe}-\text{Fe}$ : 14.569 Å, 15.782 Å) を攻撃する(図8)。これが相転移的に起こればグリッドができる。さらに、二番目に近い金属を攻撃することで、そのグリッドは2枚できる。このとき、間隙を自分で埋めながら金属が一番動かなくてもよいような構造変化を考えると、2枚のグリッドが相互貫入して二次元相互貫入構造になるしかないと考えられる。また、ベンゼンを包接している状態では、立体障害のため、この構造変化は起きないと考えられる。つまり、一次元鎖状構造から二次元相互貫入構造への構造変化については結晶内の間隙を自分で埋めて安定化しようとする因子が支配的になると考えられる。

二次元相互貫入構造から一次元鎖状構造への構造変化のドライビングフォースについて、ベンゼンを放出した後の錯体  $[\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2]$  を例に議論する。図9は、単結晶 X 線構造解析の結果、 $[\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2]$  と  $[\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2] \cdot 2$

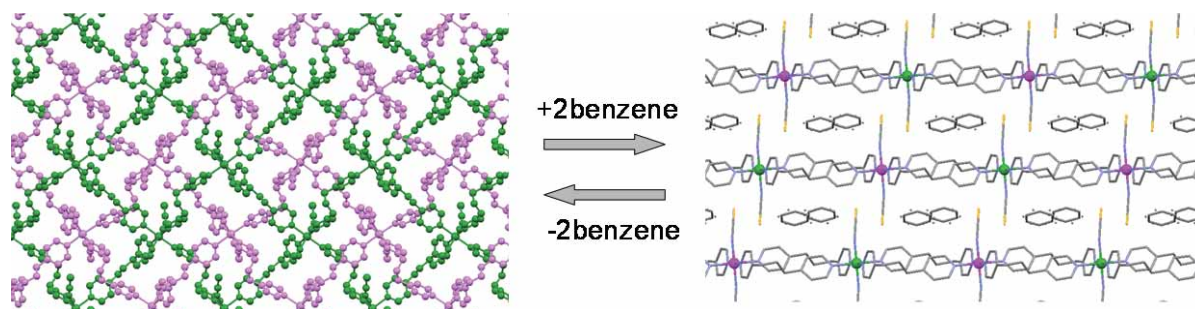


図7  $[\text{Fe}(\text{NCX})_2(\text{bpp})_2]$  ( $\text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{BH}_3$ ) におけるベンゼン分子の吸脱着に伴う集積構造の可逆的变化

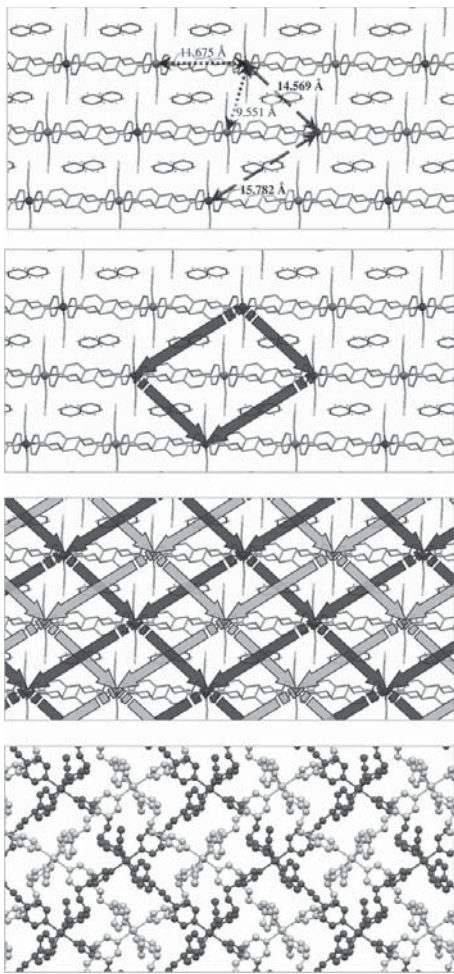


図8  $[\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2] \cdot 2(\text{benzene})$  から  $[\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2]$  へのベンゼン脱離に伴う構造変化

(benzene) に含まれていた架橋配位子 bpp の配位異性を示したものである。 $[\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2]$  には *anti-anti*, *anti-gauche*, *anti-gauche'*, *gauche'-gauche* が同数比で存在し、錯体  $[\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2] \cdot 2(\text{benzene})$  には *anti-gauche* と *anti-gauche'* が 1:1 の割合で存在していた。ここで、1つの *anti* 型と *gauche* 型の立体障害による相対エネルギー差を  $\Delta E_{a-g}$  と定義すると、 $[\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2] \cdot 2(\text{benzene})$  では 4 bpp あたり  $4\Delta E_{a-g}$ 、 $[\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2]$  では 4bpp あたり  $5\Delta E_{a-g}$  の立体障害がある。このエネルギー差は集積型錯体においては大きな寄与となり、二次元相互貫入構造から一次元鎖状構造へと戻る構造変化の重要なドライビングフォースの一つであると考えられる。

次に、アニオンに  $\text{NCSe}$  と  $\text{NCBH}_3$  を用いた錯体  $[\text{Fe}(\text{NCX})_2(\text{bpp})_2]$  ( $\text{X}=\text{Se}, \text{BH}_3$ ) とベンゼン包接錯体  $[\text{Fe}(\text{NCX})_2(\text{bpp})_2] \cdot 2(\text{benzene})$  ( $\text{X}=\text{Se}, \text{BH}_3$ ) については、前者では 4 bpp あたり  $6\Delta E_{a-g}$ 、後者では 4 bpp あたり  $4\Delta E_{a-g}$  の立体障害がある。これを反映していると考えられるのは、ベンゼンの吸脱着に要する時間の違いである。120 °C 下に置いてベンゼンを脱離させる際にかかる時間が、 $\text{NCSe}$  錯体、 $\text{NCBH}_3$  錯体では 15 ~ 20 分であるのに対し、 $\text{NCS}$  錯体では 6 分しかからない。また、逆にベンゼン雰囲気下に置くことでベンゼンを再包接させるのに要する時間については、 $\text{NCSe}$  錯体、 $\text{NCBH}_3$  錯体においてそれ

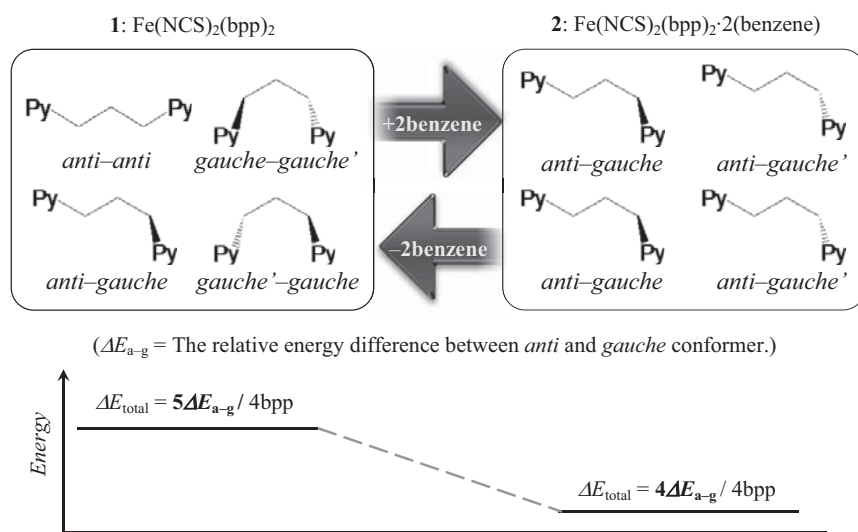


図9  $[\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2]$  と  $[\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2] \cdot 2(\text{benzene})$  の *anti-gauche* による相対エネルギー差

ぞれ16時間、1時間ほどであるのに対し、NCS錯体は120時間(5日間)もかかってしまう。

## 9. まとめ

集積型錯体がつくる多彩な集積構造、特に、*anti-gauche*異性を有する架橋配位子を用いることにより多彩な集積構造を得ることができることを紹介した。bpa錯体では、ゲスト分子を包接することにより、それを反映した様々なスピントクロスオーバー挙動を発現させることができた。特に、 $[\text{Fe}(\text{NCBH}_3)_2(\text{bpa})_2] \cdot 2(\text{biphenyl})$ では興味深いらせん構造となり、段階的なスピン変化が観測された。架橋配位子としてbppを用いると二次元相互貫入構造という珍しい集積構造が得られた。そしてベンゼン分子の吸脱着による構造変化がみられ、それに伴ったスピン状態のスイッチングがみられた。その構造変化についても説明を行った。

bpa錯体とbpp錯体で、ゲスト分子の包接とスピントクロスオーバー挙動が発現するかどうか逆転した。この理由を探るため、現在量子化学計算を用いて検討中である。ゲスト分子により、配位子の配位角などが変わっており、そのような観点から研究を進めている。

## 文献

- (1) Gütlich, P., Bill, E., Trautwein, A.L., Mössbauer Spectroscopy and Transition Metal Chemistry, Springer (2011).
- (2) 北川 進、集積型金属錯体、講談社サイエンスフィック (2001).
- (3) 中島 覚、集積型錯体のメスバウアースペクトル、*Radioisotopes*, accepted (2013).
- (4) Morita, T., Asada, Y., Okuda, T. Nakashima, S., Isomerism of Assembled Iron Complex Bridged by 1,2-Di(4-pyridyl)ethane and Its Solid-to-Solid Transformation Accompanied by a Change of Electronic State, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **79**, 738-744 (2006).
- (5) Morita, T., Nakashima, S., Yamada, K., Inoue, K., Occurrence of the spin-crossover phenomenon of assembled complexes,  $\text{Fe}(\text{NCX})_2(\text{bpa})_2$  ( $\text{X} = \text{S}, \text{BH}_3$ ;  $\text{bpa} = 1,2-$

bis(4-pyridyl)ethane) by enclathrating organic guest molecule. *Chem. Lett.*, **35**, 1042-1043 (2006).

- (6) Nakashima, S., Morita, T., Inoue, K., Spin-crossover phenomenon of the assembled iron complexes with 1,2-bis(4-pyridyl)ethane as bridging ligand studied by Mössbauer spectroscopy, *Hyperfine Interactions*, **188**, 107-111 (2009).
- (7) Nakashima, S., Morita, T., Inoue, K., and Hayami, S., Spiral Assembly of the 1D Chain Sheet of  $\text{Fe}(\text{NCBH}_3)_2(\text{bpa})_2 \cdot (\text{biphenyl})$  ( $\text{bpa} = 1,2\text{-bis}(4\text{-pyridyl})\text{ethane}$ ) and its Stepwise Spin-Crossover Phenomenon, *Polymers*, **4**, 880-888 (2012).
- (8) Bauer, W., Pfaffeneder, T., Achterhold, K., Weber, B., Complete two-step spin-transition in a 1D chain iron(II) complex with a 110-K wide intermediate plateau. *Eur. J. Inorg. Chem.* **2011**, 3183-3192.
- (9) Atsuchi, M., Higashikawa, H., Yoshida, Y., Nakashima, S., Inoue, K., Novel 2D interpenetrated structure and occurrence of the spin-crossover phenomena of assembled complexes,  $\text{Fe}(\text{NCX})_2(\text{bpp})_2$  ( $\text{X} = \text{S}, \text{Se}, \text{BH}_3$ ;  $\text{bpp} = 1,3\text{-bis}(4\text{-pyridyl})\text{propane}$ ). *Chem. Lett.*, **36**, 1064-1065 (2007).
- (10) Atsuchi, M., Inoue, K., Nakashima, S., Reversible structural change of host framework triggered by desorption and adsorption of guest benzene molecules in  $\text{Fe}(\text{NCS})_2(\text{bpp})_2 \cdot 2(\text{benzene})$  ( $\text{bpp} = 1,3\text{-bis}(4\text{-pyridyl})\text{propane}$ ). *Inorg. Chim. Acta*, **370**, 82-88 (2011).

## Abstract

Assembled coordination complexes have a variety of assembled structures depending on the bridging ligand. When the bridging ligand is flexible, more variety of assembled structure is expected depending on the conformer of the ligand. 1,2-Bis(4-pyridyl)ethane (bpa) has *anti-*

*gauche* conformer and 1,3-bis(4-pyridyl)propane (bpp) has more variety of conformer. A variety of assembled structures were obtained by changing conformer of bpa. The appearance of spin-crossover phenomenon by enclathrating guest molecule in the assembled complexes of bpa was introduced. The assembled complex,  $[\text{Fe}(\text{NCBH}_3)_2(\text{bpa})_2] \cdot \text{biphenyl}$  was synthesized, the skeleton of which was a 1D chain. Several

1D chains gathered together to form 1D chain sheet. The 1D chain sheet was stacked spirally to form novel spiral assembly. The assembly showed a stepwise spin-crossover phenomenon. The reversible structural change of host framework triggered by desorption and adsorption of guest benzene molecules was also introduced in bpp complexes.

# 総 説

## 福島第一原子力発電所事故由来の放射性セシウムの中での移行挙動と ミクロスケールでの不均質性

田中万也<sup>1</sup>、坂口綾<sup>2</sup>、岩谷北斗<sup>2</sup>、高橋嘉夫<sup>2</sup>

1 広島大学サステナブル・ディベロップメント実践研究センター

〒 739 - 8530 東広島市鏡山 1 丁目 3 - 1

2 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻

〒 739 - 8526 東広島市鏡山 1 丁目 3 - 1

### 要旨

福島第一原発事故以後、様々な試料を環境中から採取して放射性セシウムの分析を行った。エアロゾル試料の分析から、大気中に放出された放射性セシウムを高濃度に含む粒子が他の通常のエアロゾル粒子の中に極めて少数存在しており、かつそれらが不均質に存在していたことがわかった。さらに、それらの大部分は水溶性の化学種であったことがわかった。そのような水溶性放射性セシウムは、地表に沈着後、土壌や風化した岩石表面の粘土鉱物に強く吸着され、容易には脱着されない化学形態に変化した。このため、土壌深層へは殆ど移行せず、表層付近にとどまっていた。また、樹葉試料を純水、洗剤、アセトンの順にリーチング処理した結果、半分以上の放射性セシウムが溶出せず、葉の中に安定に存在していた。放射性セシウムは、一度粘土鉱物などに吸着して内圏錯体を形成すると容易には脱着しないために、エアロゾルに由来するミクロスケールの不均質性を沈着時に反映する。そのような不均質性が河川懸濁粒子として移行して行く際にも保存されていることが観測された。

キーワード：福島第一原発、放射性セシウム、粘土鉱物、吸着、不均質分布

### 1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に起きた東北地方太平洋沖地震及びそれに伴って発生した巨大津波により、特に東北地方の沿岸部では甚大な被害が発生し、多くの人命が失われた。巨大津波は東京電力福島第一原子力発電所（以下、福島第一原発）にも到達し、その結果、原子炉の冷却機能が失われ、最終的には放射性物質が環境中に放出されるという人類史上最悪レベルの原子力事故が起きた。<sup>1</sup> この事故は、チェルノブイリ原発事故と並んで国際原子力事故評価尺度（INES）で最も深刻なレベル 7 に相当するとされた。

福島第一原発事故により大量の放射性物質が環境中へと放出され、大気、土壌、森林、河川、湖沼、海洋などあらゆる自然環境が放射能に汚染された。<sup>25</sup> 環境中に放出された放射性核種は比較

的揮発性の高いセシウム 134、137 やヨウ素 131 がほとんどであった。特に、ヨウ素は甲状腺に濃集することから、<sup>6</sup> 事故当初の関心の多くは放射性ヨウ素に集まることとなった。しかし、ヨウ素 131 は半減期が約 8 日と短いことから、時間とともに減衰し、無視できるほどの放射能レベルまで低下した。そのため、現在の放射能汚染はほぼ放射性セシウム（セシウム 134、137）によるものとみなすことが出来る。放射性セシウム、特に Cs-137 は半減期が長い（Cs-134: 2.07 年、Cs-137: 30.17 年）ことから、現在では長期被ばくの観点から放射性セシウムの環境中での挙動に多くの関心が集まっている。

放射性セシウムの環境中での挙動は、放射性というよりはむしろ“元素としてのセシウムの化学的性質”を突き詰めて考える必要がある。それは

すなわち、セシウムの分子レベルの化学種や化学的素過程を考えるということである。その把握なしに今回の事故による放射性セシウムの中での移行挙動の正しい理解や将来予測はできない。放射性セシウムが事故時に福島第一原発からどのような化学形態で大気中に放出されたかを把握するのは非常に困難である。さらに、放出された放射性セシウムは放射能濃度としては高くても、原子数に換算すると極めて微量であるために、環境試料分析から化学形態を明らかにするのは容易ではない。しかし、少なくとも現在示す環境中での化学状態を把握しなければ、今後の放射性セシウムの二次的移行を正確に予想することはできない。したがって、現在得られる試料から、放射性セシウムの化学状態に関する情報を最大限に引き出す必要がある。本稿では、著者が共同研究者とともに行ったこれまでの調査・研究の成果を中心にして環境中での放射性セシウムの分布やその挙動について紹介する。

## 2. 大気中に放出された放射性セシウム

2011年3月福島第一原発事故後に、川崎市公害研究所にて採取されたエアロゾル試料の光学写真像とオートラジオグラフ像をそれぞれ(図1)に示した。<sup>7</sup>エアロゾル試料は地上から12 mでハイボリュームエアサンプラーを用いて採取した。光学写真像の灰色部はエアロゾル粒子を示しており、フィルター上にエアロゾル粒子が均質に捕集されていることがわかる。一方で、同試料のオートラジオグラフ像(主に $\gamma$ 線を出す放射性核種の分布を表す)には不均一な黒点の分布が認められる。なお、本試料の測定を行った時点では放

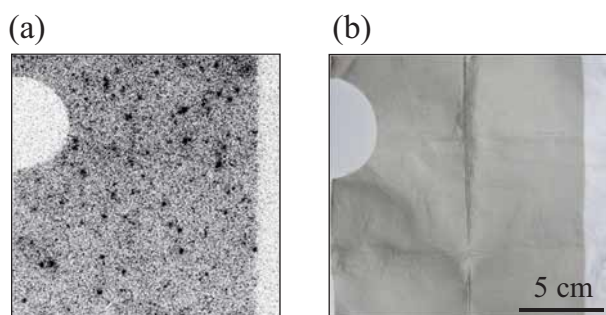


図1 2011年3月21日から22日にかけて川崎市で採取したエアロゾルフィルター試料の(a)オートラジオグラフ像、及び(b)光学写真像。

射性ヨウ素(I-131)は無視出来るほど減衰しており、この放射能分布は放射性セシウムの分布とみなせる。ここで注目すべき点は、放射能が弱いもしくは放射能を殆ど持たない粒子の中に強い放射能を持つ粒子が混在していることである。もし放射性物質を含む粒子が非放射性的の通常のエアロゾルと同じ数だけあれば、図1のような不均一な放射能分布は観察されないはずである。すなわち、この不均一な分布は、福島第一原発から放出された放射性セシウムを高濃度に含む粒子が他の通常のエアロゾル粒子の中に極めて少数存在しており、それらがともに大気中を輸送されたことを反映したものと考えられる。

このような高い放射能を持つ粒子の走査型電子顕微鏡(SEM-EDX)を用いた観察及び化学組成分析を行ったが、原子数として数が少ないことやおそらく粒子サイズが小さいことから、どのような粒子が放射性セシウムの担体になっているのかは特定することが出来なかった。しかし、少なくともエアロゾル粒子中の放射性セシウムが水溶性かどうかを評価するだけでも意味があり、その後の陸上への沈着及び移行過程を議論する上で重要な化学的情報となる。そこで、2011年3月に採取したいくつかのエアロゾルフィルターを純水に浸してエアロゾル粒子に含まれる放射性セシウムの水溶解性を調べたところ、50~90%の放射性セシウムが水溶性であることが明らかとなった。<sup>7</sup>したがって、少なくともエアロゾル中の放射性セシウムには比較的水に溶解易い化学種が含まれていることが示された。そのため、湿性沈着では、エアロゾル中の放射性セシウムが雨粒中に一旦溶解したことを示唆する。また、放射性セシウムを含むエアロゾルが地面に乾性沈着した場合でも、降雨などによって多くの放射性セシウムが水に一旦溶けたことを示唆する。このように、限られた化学的情報であっても実試料を用いて放射性セシウムの化学状態に関する知見が得られれば、その後の移行過程を考える上で重要な情報となる。

## 3. 地表に沈着した放射性セシウム

### 3.1. 土壌への沈着

環境中に放出された放射性セシウムは大気を



經由して最終的には地表に乾性沈着あるいは湿性沈着したと考えられる。(図2)には、福島県伊達郡川俣町山木屋地区(計画的避難区域)で採取した風化花崗岩の薄片試料のオートラジオグラフ像を示した<sup>7</sup>。エアロゾルの場合と同様に、岩石表面に沈着した放射性セシウムの分布は不均一であることが分かる。同試料について、鉱物(例えば粘土鉱物)と放射性セシウムの分布の対応、またはカリウムなど、セシウムと化学的挙動が似ていると考えられている元素の分布との相関関係を調べるために、走査型電子顕微鏡(SEM-EDX)を用いて調べたが、明瞭な相関関係は認められなかった。このことは、放射性セシウムの分布が、水の存在下で試料全体が平衡になるような、例えば実験室内での均質な水溶液から土壤粒子へのセシウム吸着実験のような条件で決定された訳ではないことを示す。むしろ放射性セシウムは、ミクロな意味で沈着したその場所に留まっており、風化花崗岩に普遍的に存在する粘土鉱物に強く吸着して存在していると解釈することが出来る。実際、純水を用いて風化花崗岩や同地点で採取した土壤試料からの放射性セシウム抽出を試みたが、抽出量は1%以下であり、殆ど溶出しなかった<sup>7</sup>。粘土鉱物中のイオン交換態としての放射性セシウムを抽出するために、1 M 塩化アンモニウム水溶液を用いても、抽出量は10%前後であった。

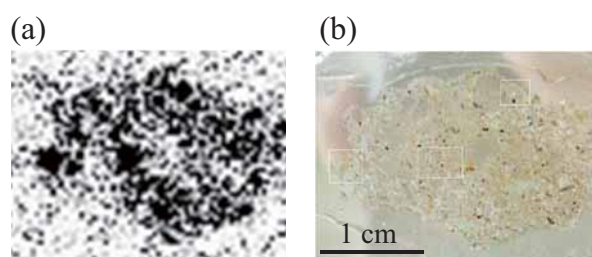


図2 風化花崗岩薄片試料の(a)オートラジオグラフ像、及び(b)光学写真像。岩石試料は2011年5月29日に福島県伊達郡川俣町の山木屋地区で採取した。

放射性セシウムが陸上に沈着した後、表層に固定され殆ど動かないことは、土壤中の深度プロファイルからも読み取ることが出来る。<sup>8-10</sup> 郡山市で2011年4月13日に採取した土壤中の深度プ

ロファイルは、地表に沈着した放射性セシウムの90%以上が表層5 cm以内に存在していることを示す(図3)。福島市や矢吹町で同日採取した土壤コア試料を分析しても同様の結果であった。放射性セシウムは大气から土壤に沈着するので、この深度プロファイルは放射性セシウムが表層にとどまり、鉛直方向に移行しにくい化学形態であることを示している。すなわち、土壤中で水に溶けず、動かない化学形態をとることを示している。これらの土壤を用いて放射性セシウムの水溶性を調べたが、やはり水への溶出は殆どないことが確認された。<sup>8</sup> 大气中では大部分が水溶性の化学形態であった放射性セシウムが、陸上に沈着後はほぼ水に不溶性に変化したことになる。

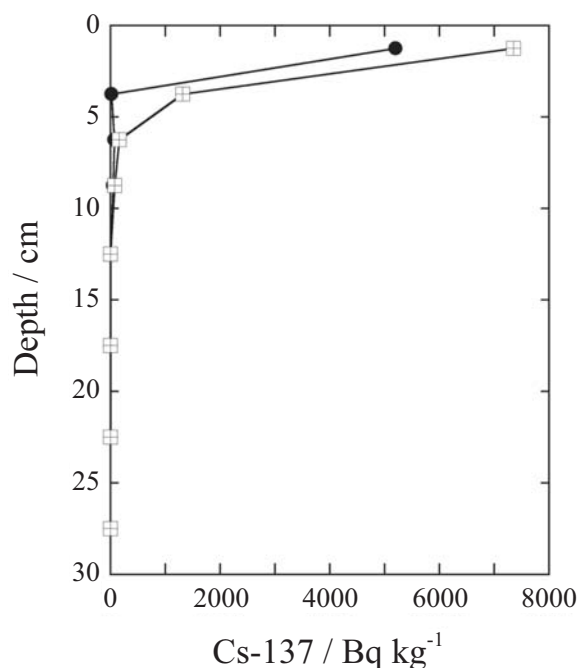


図3 2011年4月13日に福島県郡山市で採取した土壤コア試料のCs-137濃度深度プロファイル。同地点において2本コア試料を採取した。

### 3.2. 樹葉への沈着

日本の大部分は植生に覆われており、土壤への放射性セシウムの沈着と同様に森林への沈着も重要な移行過程である。森林の樹冠は表面積が大きいいため大气中の汚染物質を捕集する機能を持つ。そのため、放射性物質が森林に沈着する場合、林床への直接的な沈着だけでなく一部は樹冠へ

の沈着、及びその後の降雨による洗い落としによる林床への移行などを考える必要がある。<sup>11,12</sup> 落葉樹林で樹冠に葉が付いていない場合には、林床に直接沈着する割合が大きくなる。

2011年12月に川俣町山木屋地区のスギ人工林においてスギの樹葉試料を採取した。<sup>13</sup> この樹葉試料は原発事故よりも後に落葉したものと考えられる。すなわち原発事故時には樹冠にあったものである。この樹葉試料を純水、洗剤、アセトンを用いて順にリーチングを行い、処理前後にそれぞれ光学写真及びオートラジオグラフ像を撮影した(図4)。なお、ここで用いた洗剤は0.14%の脂肪酸カリウムであり、特に他の添加剤は含まれていなかった。オートラジオグラフ像が示す通り、3段階のリーチング処理を行った後も樹葉には放射性セシウムが残っていることがわかる。オートラジオグラフ像はすべて同条件(露光時間)で分析を行っているので、かなりの量の放射性セシウムが残っていることが定性的にも分かる。リーチング処理前後のオートラジオグラフ像の強度を比較すると、純水処理では約40%、洗剤処理で約10%の放射性セシウムが取り除かれ、アセトン処理では殆ど抽出されることが分かった。純水処理による放射性セシウムの減少は、葉表面の水溶性成分の溶出または物理的に吸着していた放射性セシウムを含む粒子が取り除かれた結果であると考えられる。さらに、洗剤やアセトンによるリーチング処理を行った後で

も、スギの樹葉にはおよそ半分の放射性セシウムが残っていた。樹葉試料に染色反応を施して顕微鏡観察をすると、洗剤処理により葉表面のワックス成分が除去されていることが確認された。これは放射性セシウムが葉の組織の中に吸収されていることを示唆している。<sup>12</sup> アカマツの樹葉試料を採取して同様のリーチング処理を行っても、半分以上の放射性セシウムが樹葉中に残った。また、原発事故時にすでにリター層(落葉・落枝層)に落葉していた枯葉試料(スギ、コナラ)であっても同様の結果であった。これは、枯葉であっても放射性セシウムが沈着すれば葉の組織の中に何らかの形で取り込まれることを示唆している。

#### 4. 河川を経由した放射性セシウムの移行

地表に沈着し土壌表層に固定された放射性セシウムは、一部は巻き上げによって大気へと再浮遊するかもしれないが、大まかには侵食過程を経て河川に流入し、海洋に運ばれることになる。したがって、河川を経由して運搬されていく放射性セシウムが粒子態と溶存態でどのような割合で存在するのかは、移行量の見積もりにおいて重要な基礎情報である。

2011年の6月から7月にかけて、福島県の主要一級河川である阿武隈川とその支流の一つである口太川で河川水試料の採取を行った。現地にて河川水を篩やフィルターを用いて連続的にろ過しながら、3つの浮遊懸濁粒子態画分(> 63

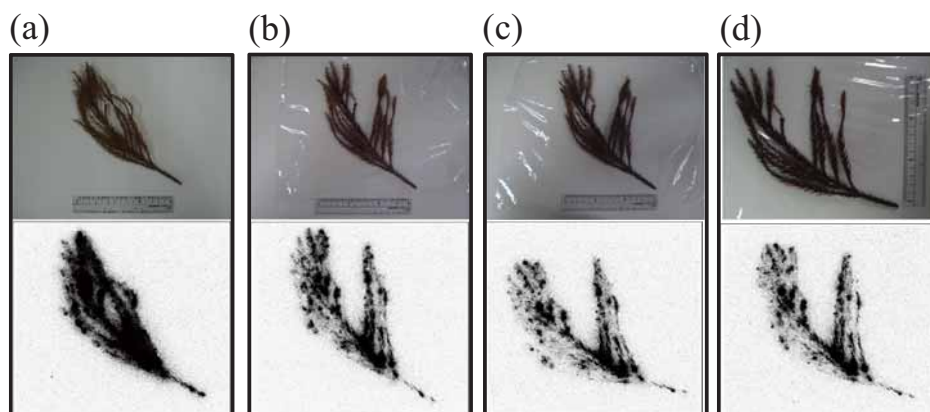


図4 福島県伊達郡川俣町の山木屋地区で採取したスギ(*Cryptomeria japonica*)の光学写真像(上段)及びオートラジオグラフ像(下段)。(a)生試料、(b)純水処理後、(c)洗剤(0.14%脂肪酸カリウム)処理後、(d)アセトン処理後の結果をそれぞれ示す。ここに示すスギの樹葉試料は原発事故時には樹冠にあり、事故後に落葉したと考えられるものである。

$\mu\text{m}$ , 3 - 63  $\mu\text{m}$ , 0.45 - 3  $\mu\text{m}$ ) と溶存態画分 (< 0.45  $\mu\text{m}$ ) に分画採取した。採取した試料の分析を行った結果、少なくとも70%以上の放射性セシウムが粒子態として河川を移動していたことが分かった。そして、粒子態の中でも特に3 - 63  $\mu\text{m}$  サイズの寄与が最も大きかった。フィルター上に捕集されたこのサイズの懸濁粒子をオートラジオグラフィで分析したところ、放射性セシウムはフィルター上にやはり不均一に分布していた(図5)。<sup>7</sup>

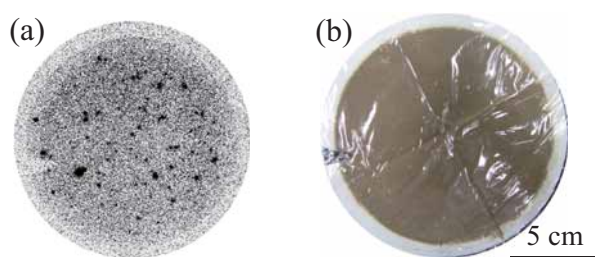


図5 2011年7月31日に口太側下流地点(福島県二本松市)において採取した河川懸濁粒子の(a)オートラジオグラフィ像、及び(b)光学写真像。懸濁粒子は孔径3  $\mu\text{m}$ のフィルター上でろ過することにより捕集したものであり、3 - 63  $\mu\text{m}$ の粒子サイズに相当する。

以上の結果は、i)河川中を移行する無数の懸濁粒子の内、ほんの一部が放射性セシウムを高濃度に保持した粒子であること、ii)一度粒子に吸着された放射性セシウムは容易には脱着しないため懸濁粒子間で放射性セシウムが均質化しないこと、などを示す。河川懸濁粒子に1 M塩化アンモニア水溶液や2 M塩酸を加えても、放射性セシウムは4%程度しか溶出しなかった<sup>7</sup>。このことは、放射性セシウムが土壌粒子や懸濁粒子に吸着したまま環境中を移動し易いことを示しており、実際の観測事実と整合的である。以上の観測結果を踏まえると、エアロゾル中で不均一に存在し水溶性が高かった放射性セシウムは、土壌沈着後に不溶性に変化し、そのことで不均一性を保ったまま土壌-河川系を移行するという解釈が成り立つ。

先述の通り、大部分の放射性セシウムが粒子態として移行する一方で、最大30%の放射性セシウムが溶存態として移行していた。このことは、

事故後の比較的初期では、粒子と反応しなかった成分が溶存態として河川へと流入した可能性を示唆している。最近の著者らの研究グループの実験から、土壌粒子への腐植物質の吸着により、セシウムの粘土鉱物への吸着が一部阻害される結果が得られており、このことが放射性セシウムの溶存態としての移行を促進している可能性もある。<sup>14</sup>

## 5. 分子レベルでの放射性セシウムの不均質分布の成因

セシウムは環境中では水に溶け易い1価の陽イオンとして存在するが、雲母や2:1型粘土鉱物に特異的に安定に吸着することが知られている。これら粘土鉱物は、ケイ素やアルミニウムの酸化物が2次元に広がった層が積み重なった構造を持ち、これらの層間に様々なイオンを吸着する。特に、セシウムイオンは粘土鉱物の層間に安定に吸着されると考えられているが、これにはセシウムイオンの大きなサイズが影響している。水溶液中の溶存セシウム、すなわち水和イオンは、8個の水分子と酸素を介して結合するが、大きなセシウムイオンでは水和が弱い。一方、このように大きなセシウムイオンは、2:1型粘土鉱物や雲母のケイ酸塩4面体シートが層間に作る六員環にサイズの的にフィットする。この状態が水和状態より安定であるため、セシウムイオンの特異的な吸着が起きる。<sup>15</sup>

このような粘土鉱物中でのセシウムの安定性はEXAFS(広域X線吸収微細構造)法を用いることにより分光学的に確かめることが出来る。<sup>16</sup> 実試料中の放射性セシウム(3000 Bq/kg程度)の重量濃度(< 10<sup>-6</sup> mg/kg)は原子数に換算するとごく微量であり、それらの試料に含まれる放射性セシウムの化学状態を直接推定するのは困難である。そこで、福島で採取した土壌や河川堆積物試料に安定同位体セシウム(<sup>133</sup>Cs)を添加し、EXAFSスペクトルの測定を行うことで、そのセシウム周囲の構造を調べた。<sup>7,17</sup> EXAFSスペクトルをフーリエ変換して得られる動径構造関数(RSF)を解析することにより、中心元素であるセシウムからRの距離(厳密には位相シフト $\Delta R$ を含む)にどのような元素が存在するかを知る

ことが出来る。水和セシウムイオン、バーミキュライト及び福島で採取した試料に吸着されたセシウムの動径構造関数には、2つのCs-O結合の寄与がみられる(図6)。水和イオンでは、 $R+\Delta R=2.4\text{ \AA}$ 付近にCs-O<sub>1</sub>のピークが認められ、これは水和水の酸素とセシウムの結合を示す(図6a)。一方、バーミキュライトでは、Cs-O<sub>1</sub>に加えて $R+\Delta R=3.5\text{ \AA}$ 付近にもう一つのピークCs-O<sub>2</sub>が現れる(図6b)。これは吸着されたセシウムとセシウムを吸着したバーミキュライトが持つ酸素が直接結合していることを示す。<sup>16</sup>このような吸着種は内圏型表面錯体(内圏錯体)と呼ばれている(図7a)。福島の土壌や堆積物試料に吸着されたセシウムにも、このような内圏錯体の形成を示すピークCs-O<sub>2</sub>が見られた(図6c, d)。これに対して、カルシウムイオン(Ca<sup>2+</sup>)などでは水和したまま粘土鉱物に吸着される。このように、イオンが水和したまま静電的に吸着した化学種を外圏型表

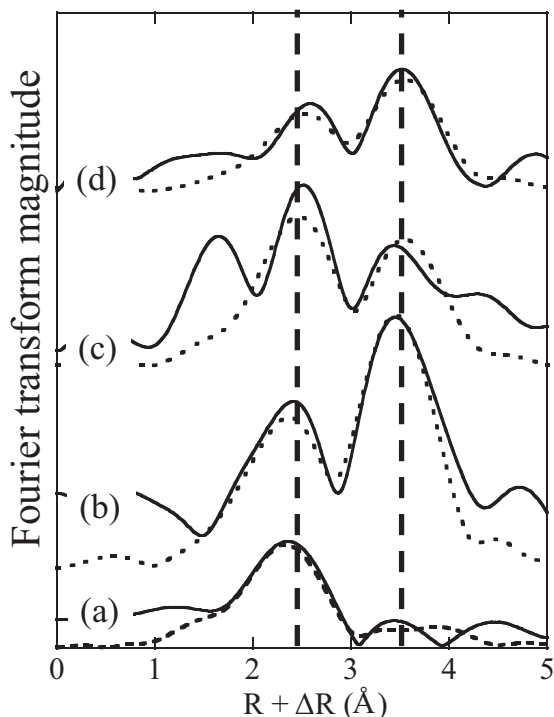


図6 Cs L<sub>III</sub>吸収端EXAFSスペクトルから得られた動径構造関数(位相シフトの補正は行っていない)。(a)Cs水和イオン、(b)Csを吸着させたバーミキュライト、(c)Csを吸着させた堆積物、(d)Csを吸着させた土壌、を示す。堆積物及び土壌は福島で採取した試料を用いた。実線は測定結果、点線はフィッティング結果をそれぞれ示す。

面錯体(外圏錯体)と呼ぶ(図7b)。内圏錯体は外圏錯体よりも安定であり、福島で採取した実試料において内圏錯体の寄与がみられることは、セシウムがこれらの試料に強く吸着され、安定に存在し得ることの強力な裏付けとなる。

上述のEXAFSの結果は、試料中に含まれる放射性セシウムと比較して、多量に添加した安定同位体セシウムが示す構造である。しかし、原子数から見てかなり少ない放射性セシウムが同様の構造か、むしろより安定な構造を示す可能性が高い。すでに述べたような土壌や河川懸濁粒子に見られる放射性セシウムの強い吸着は、粘土鉱物・雲母などへの内圏錯体の生成に由来していると考えられる。一度土壌粒子などに吸着して内圏錯体を形成すると容易には脱着しないために、それが土壌や河川懸濁粒子中で見られる放射性セシウムのミクロスケールでの顕著な不均一性を生み出していると解釈できる(図2・5)。

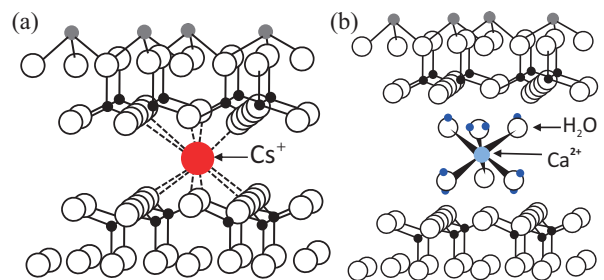


図7 2:1型の層状珪酸塩鉱物に吸着したCs<sup>+</sup>イオン及びCa<sup>2+</sup>イオンの模式図。(a)Cs<sup>+</sup>イオンは内圏錯体を形成し、(b)Ca<sup>2+</sup>イオンは外圏錯体を形成する。

## 6. おわりに

以上のように、セシウムという元素としての性質を強く意識して調査・研究を行うことによって、現在福島で観測される放射性セシウムの分布や挙動を理解することが出来る。ミクロスケールでの不均質性は、マクロスケール(数メートル)でもやはり不均質分布となって現れる。粘土鉱物への強い吸着により、放射性セシウムは主に粒子態として環境中を移行していくが、容易には脱着しないために、不均質性を保ったまま移行していく。また、樹葉へ沈着した放射性セシウムも具体

的な化学状態は不明であるが、かなり安定に葉の組織に取り込まれている可能性がある。森林に蓄積した放射性セシウムが侵食によって生活圏に移行することもあるため、生態系を通して放射性セシウムがどのように移行していくのかを、福島において観測していくことは重要である。

## 謝 辞

広島大学アイソトープ総合部門のスタッフの方々には分析機器使用の際にお世話になった。同大学ものづくりプラザの石佐古早実氏には薄片試料の作製に関して指導して頂いた。筑波大学の恩田裕一教授には、貴重な試料を提供して頂きました。ここに記して感謝いたします。

## 参考文献

- (1) Nuclear Emergency Response Headquarters Government of Japan, Available at: [http://www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea\\_houkokusho\\_e.html](http://www.kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html) (2013年2月28日確認), (2011).
- (2) M. Chino, H. Nakayama, H. Nagai, H. Terada, G. Katata, H. Yamazawa, J. Nucl. Sci. Technol. **48**, 1129 (2011).
- (3) N. Kinoshita, K. Sueki, K. Sasa, J. Kitagawa, S. Ikarashi, T. Nishimura, Y. Wong, Y. Satou, K. Handa, T. Takahashi, M. Sato, T. Yamagata, PNAS **108**, 19526 (2011).
- (4) N. Yoshida, Y. Takahashi, Elements **8**, 201 (2012).
- (5) S. Endo, S. Kimura, T. Takatsuji, K. Nanasawa, T. Imanaka, K. Shizuma, J. Environ. Radioact. **111**, 18 (2012).
- (6) E. Cardis, A. Kesminiene, V. Ivanov, I. Malakhova, Y. Shibata, V. Khrouch et al., J. National Cancer Inst. **97**, 724 (2005).
- (7) K. Tanaka, A. Sakaguchi, Y. Kanai, H. Tsuruta, A. Shinohara, Y. Takahashi, J. Radioanal. Nucl. Chem. **295**, 1927 (2013).
- (8) K. Tanaka, Y. Takahashi, A. Sakaguchi, M. Umeo, S. Hayakawa, H. Tanida, T. Saito, Y. Kanai, Geochem. J. **46**, 73 (2012).
- (9) H. Kato, Y. Onda, M. Teramage, J. Environ. Radioact. **111**, 59 (2012).
- (10) T. Ohno, Y. Muramatsu, Y. Miura, K. Oda, N. Inagawa, H. Ogawa, A. Yamazaki, C. Toyama, M. Sato, Geochem. J. **46**, 287 (2012).
- (11) K. Bunzl, W. Schimmack, K. Kreutzer, R. Schierl, Sci. Total. Environ. **78**, 77 (1989).
- (12) I. A. Scotti, S. Silva, J. Environ. Radioact. **16**, 97 (1992).
- (13) K. Tanaka, H. Iwatani, A. Sakaguchi, Y. Takahashi, Y. Onda, J. Radioanal. Nucl. Chem. **295**, 2007 (2013).
- (14) Q.H. Fan, Y. Takahashi, K. Tanaka, A. Sakaguchi, An EXAFS Study on the Effect of Mineralogy Composition and Natural Organic Matter on Cesium Adsorption and Mobility. Submitted to Geochim. Cosmochim. Acta (under review).
- (15) 塚田祥文、鳥山和伸、山口紀子、武田晃、中尾淳、原田久富美、高橋知之、山上睦、小林大輔、吉田聡、杉山英男、柴田尚、日本土壤肥科学雑誌 **82**, 408 (2011).
- (16) B. C. Bostick, M. A. Vairavamurthy, K. G. Karthikeyan, J. Chorover, Environ. Sci. Technol. **36**, 2670 (2002).
- (17) H. Qin, Y. Yokoyama, Q. Fan, H. Iwatani, K. Tanaka, A. Sakaguchi, Y. Kanai, J. Zhu, Y. Onda, Y. Takahashi, Geochem. J. **46**, 297 (2012).

## Abstract

Various kinds of natural samples such as aerosols, rock, soil, tree leaves and river suspended sediment were collected after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident. Analysis of radiocesium for these samples gave us important information to discuss the post-event behavior and transportation of radiocesium in the environment from the air into ground and river systems. Only a small amount of

airborne particles containing high radiocesium concentration, which contained water-soluble fractions of radiocesium, were transported with non-radioactive aerosols in the air. Subsequent interaction of such water-soluble fraction with water (e.g. rainfall) dissolved and strongly fixed the radiocesium on rock and soil particles (clay minerals), thus changing the radiocesium into insoluble forms. The distribution of radiocesium was possibly controlled by the initial position of deposition from the air to the ground, producing the heterogeneous distribution. Such heterogeneity in river suspended particles was also observed during water transportation, reflecting the heterogeneity of radiocesium in rock and soil. Leaching experiments demonstrated that radiocesium in rock, soil

and river suspended sediment was fairly insoluble, possibly due to the formation of inner-sphere complexes in clay minerals. Leaching experiments also demonstrated that radiocesium in contaminated tree leaves strongly fixed in leaf tissues and is not readily released. The micro-scale heterogeneous distribution of radiocesium in aerosols, soil and suspended particles was due to the presence of small particles in aerosols containing high radiocesium concentration. Dissolution of radiocesium in the aerosol particles and subsequent irreversible adsorption onto the soil particle complex are responsible for the preservation of the heterogeneity both in soil and in river suspended particles.

## ニュース

### 放射性同位体の生成とその利用から 天然における核現象の解明へ

柴田誠一（京大原子炉）

#### 1. はじめに

私が放射化学を専門として研究をスタートさせてから40数年になる。九州大学理学部の学生として卒業研究で放射化学を専攻し、東京大学原子核研究所に職を得て、その後京都大学原子炉実験所に異動した。気が付けば退職の時が目前で、あっという間の時間経過であった。ここでは、これまでに行った主な研究の概略を、どのようにしてこのような研究を始めるに至ったかに重点をおいて紹介する。研究の詳細については、本稿の最後に引用した文献を参照していただきたい。

#### 2. 宇宙線生成核種に関する研究

卒業研究の講座配属で放射化学講座（当時、梅本春次教授、高島良正助教授、松田英毅助手、後に大崎進助手）を選び放射化学に関する研究を開始した。いくつか提示されたテーマの中から、宇宙線生成核種 $^{53}\text{Mn}$ に関する研究を選び、微量マンガンの化学分離法の開発からスタートした。当時、研究室では、放射化学的に純粋な $^{53}\text{Mn}$ の製造を目指しており、1970年の夏、 $^{54}\text{Fe}(\gamma, n)^{53}\text{Fe} \rightarrow ^{53}\text{Mn}$ 反応（ $^{53}\text{Fe}$ は8.5分の半減期で $\beta^+$ 壊変し $^{53}\text{Mn}$ になる）、 $^{54}\text{Fe}(\gamma, p)^{53}\text{Mn}$ 反応による電子線型加速器を用いた $^{53}\text{Mn}$ 製造の共同利用実験で、初めて京都大学原子炉実験所（京大原子炉）に足を踏み入れた。共同利用施設の初めての利用経験でもあった。当時 $^{53}\text{Mn}$ の半減期は $2 \times 10^6$ 年とChart of the Nuclidesに掲載されていたが（現在は $3.7 \times 10^6$ 年）、より高精度の半減期の測定が期待されていたこともこの研究の背景にあった。

大学院に進学してからもこの研究を継続し、理化学研究所（理研）のサイクロトロンを用いた $^{52}\text{Cr}(d, n)^{53}\text{Mn}$ 、 $^{51}\text{V}(^3\text{He}, n)^{53}\text{Mn}$ 、 $^{50}\text{Cr}(\alpha, n)$ 、 $(\alpha, p)^{53}\text{Mn}$ 反応による $^{53}\text{Mn}$ の製造実験を行った。 $^{52}\text{Cr}$ 、 $^{50}\text{Cr}$ のターゲットとしては、いずれも化学

形 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ の濃縮同位体を融解法で酸化し $\text{Cr}^{6+}$ として電着法で金属クロムターゲットを調製し用いた。この照射実験では、当時理研の野崎正博博士、安部文敏博士に大変お世話になった。理研で照射した試料からのマンガンの化学分離と測定は、東京大学物性研究所（物性研）の本田雅健教授（当時）にお願いし、物性研のRI実験室で行った。最終的に、 $^{50}\text{Cr}(\alpha, n)$ 、 $(\alpha, p)^{53}\text{Mn}$ 反応が副生成物の $^{54}\text{Mn}$ （半減期：312日）の生成量が少なく $^{53}\text{Mn}$ の製造には最適であるとの結論が得られた。<sup>1</sup>この研究の遂行中、私が博士課程1年の時、指導教授の梅本先生が急逝された。突然の訃報に驚き、しばし呆然としたが、この製造実験のまとめだけでは学位論文は書けないと思い、 $^{53}\text{Mn}$ の宇宙化学的な応用として、宇宙線生成安定核種 $^{53}\text{Cr}$ を質量分析法で測定し、 $^{53}\text{Mn}$ の結果と併せて $^{53}\text{Mn}$ - $^{53}\text{Cr}$ 法による宇宙線照射年代の測定を考えた。（これには、岩波書店の“科学”1973年7月号に掲載された記事が参考になった。岩波編集部へ質問のはがきを送ったところ、記事の提供者から丁寧な回答が送られてきた。その回答者が高木仁三郎さんであった。）本田先生に相談したところ、この内容について厳しいコメントもあったが、この年代測定のため鉄隕石を使うことを許可していただいた。鉄隕石からマンガンとクロムを化学分離し、 $^{53}\text{Mn}$ は $^{53}\text{Mn}(n, \gamma)^{54}\text{Mn}$ 反応による放射化分析で、宇宙線で生成した $^{50}\text{Cr}$ 、 $^{53}\text{Cr}$ 、 $^{54}\text{Cr}$ は質量分析法で測定し、照射年代を求めた。得られた年代はいずれも $10^8$ 年のオーダーで、他の核種を用いた年代と矛盾しない結果が得られた。この頃、Allende隕石のwhite inclusionに酸素の同位体比異常が発見され話題となっていた。私もwhite inclusionの試料をいただき、 $^{53}\text{Mn}$ の壊変でできる $^{53}\text{Cr}$ の異常が検出できないか、クロムの同位体比を測定したが、結果は残念ながらネガティブであった。この間、研究室の高島先生

には、ご自身の専門とは違うテーマであったにもかかわらず、研究の遂行を温かく見守っていただき、博士課程を無事修了できた。

この研究の過程で、宇宙線による核反応との関連から高エネルギー核反応、特に核反応機構についてさらに研究してみたいと思っていたところ、東京大学原子核研究所（核研）の助手公募を知り応募した。厳しい面接があったが、幸いにも採用されることになり、加速器を用いた実験も可能な研究の場を得た。

### 3. 高エネルギー核反応の研究 — 迅速化学分離法の開発

核研では低エネルギー部化学室（当時、田中重男助教授、今村峯雄助手、井上照夫技官）に所属し、業務としてRI実験室の管理を受け持つことになった。最初の仕事はRI実験室の改造で、クリーンルームの導入のための設計からであった。この改造のための打合せ等で、核研の多くの職員と面識を得たが、化学室のメンバー以外、周りはずべて物理の研究者という環境でしばらくの間戸惑うことばかりであった。

その当時、放射化学研究者の中の核化学グループは、京都大学原子エネルギー研究所の西朋太教授（当時）を代表者として、高エネルギー物理学研究所（KEK）の12 GeV陽子シンクロトロンを用いた $\pi^-$ の実験を行っていた。<sup>2</sup> 核研に着任してから私もこの実験に参加したが、この実験の過程で、西先生からアメリカ ペンシルベニア州ピッツバーグのカーネギー・メロン大学のキャロル教授のところでのポストドク募集を紹介していただき、核研では将来計画（ニューマトロン計画）が動き出し多忙な時期であったが田中先生の了解も得て、海外での研究生活を送ることができることになった。

この頃、核研では空芯ベータスペクトロメータによる<sup>252</sup>Cfを線源として用いる共同利用実験が計画されていた。私にも研究代表者から線源調製を手伝ってほしいかとの依頼があったが、アメリカへ行くことが決まっていたため断った。これがその1年後の1980年、私がアメリカにいる時に起きた<sup>252</sup>Cfの汚染事故につながった実験であった。

1979年11月にカーネギー・メロン大学に到着後、キャロル教授から与えられたテーマは、高エネルギー陽子と<sup>92</sup>Mo、<sup>96</sup>Mo、<sup>100</sup>Mo及び<sup>89</sup>Yとの核破碎反応により生成する放射性核種の生成断面積を、できるだけ短寿命の核種まで精度よく測定し、その核反応機構について検討することで、特にその当時のChart of the Nuclidesで、半減期5-10分と示されていてまだ確定していなかった<sup>81-84</sup>Zrの半減期を、迅速化学分離法を開発して、決定するというものであった。実験はロスアラモス国立研究所の線型加速器を用いて、陽子エネルギー500 MeV、800 MeVで行った。2年間の滞在中8回ロスアラモスへ出かけたが、ピッツバーグ到着後最初の実験で出かけるまでの3ヶ月間は、ジルコニウムの迅速分離法の開発、それにターゲットとして用いる濃縮同位体モリブデン金属とイットリウム金属を迅速化学分離のためあらかじめ水溶性の化合物に変えておくための開発研究に没頭した。

1回目の実験は、水溶性化合物にしておいたターゲットを陽子で照射し、照射直後にラビットシステムを使って照射ステーションから実験室に戻ってきたターゲットからジルコニウムとイットリウムを迅速に分離するスキームの確認が主目的だったが、この最初の実験で、放出核種が未知の112 keVの $\gamma$ 線を検出できた。その後実験を繰り返すことで再現性を確認し、このg線は26分の半減期で減衰する<sup>84</sup>Zrであると同定できた。<sup>3</sup> この結果は現在、Chart of the Nuclides、Table of Isotopesに採用されている。また、この実験の過程で、当時のTable of Isotopesに掲載されていた<sup>87</sup>Zrの1228 keV  $\gamma$ 線の存在度4%が誤りで、実際は2.8%であることも示すことができた。<sup>4</sup>

2年間の滞在中に1度、1980年にロスアラモスでNuclear ChemistryのWork Shopが開催された。日本からは西先生がご夫妻で参加された。この時は私の家族も一緒に参加したが、Work Shop終了後の帰路、ロスアラモスからサンタフェへ向かう国道沿いのCamel Rockのところまでわざわざ車を止めて、キャロル教授が家族写真を撮ってくれた。懐かしい思い出です。



#### 4. 光核反応の研究 — 加速器質量分析法の利用

アメリカから帰国してまもない1982年早春に、家族を乗せて家内の実家へ車を走らせていた時にラジオから流れてきた臨時ニュース、「ただいま東京都田無市緑町3丁目の東京大学原子核研究所で火災が発生し・・・。」には驚いた。実家へ着いてからすぐに核研に連絡を取り、RI実験室は大丈夫だと聞いて内心ほっとしたことを覚えている。これはSFサイクロトロン電源室で発生した火事で、しばらくSFサイクロトロンの運転はできなくなった。この年の秋、化学室の田中先生が急逝された。<sup>252</sup>Cf事故時の対応等の心労の蓄積がその一因であったと思われる。

帰国後も高エネルギー核反応に関する実験を継続して行いたいと思い、いろいろと検討した結果、核研の1.3 GeV電子シンクロトロンを用いた高エネルギー制動放射線による核反応実験を行うことを計画した。テスト的にビームタイムをもらって実験を行い、面白い実験ができると手ごたえを感じたが、シンクロトロンのビームタイムは昼夜連続の1週間単位での利用であったため、私と今村先生の2人では、とても体力が持たないということで、金沢大学の坂本浩教授（当時）に応援を求めた。坂本先生は核研の先輩でもあり、東北大学原子核理学研究施設（当時）の電子線型加速器を使った実験もされており、制動放射線利用の核反応実験の経験者ということで心強い協力者でもあった。それに、KEKでの核化学グループの実験の時からお世話になっていた追手門学院大学の藤原一郎教授（当時）にも加わっていただき、光核反応の研究グループを結成し、300 MeV以上では核研のシンクロトロンを、200 MeV以下では東北大の電子線型加速器を用いて実験を開始した。その後、核研の大先輩でもある名古屋大学の古川路明教授（当時）にも参加していただいた。この実験は1980年代半ばから2000年にかけて行った。

光子による核反応は、低エネルギーでは巨大共鳴を、エネルギーが高くなると(3, 3)共鳴を経由して反応が進行する。この反応開始の最初のステップは陽子などのハドロンの反応とは明らかに異なっており、放射化学者が得意とする反応生成物の収率分布を求めて、その中にハドロン反応

と光子反応の違いを見出すことが所期の目的であった。この実験によりハドロン入射と光子入射ではターゲット核に持ち込まれる励起エネルギーは光子反応の方が小さく、また、光子の反応の方がハドロン反応より低い照射エネルギーで励起エネルギーは飽和に達するという結果が得られた。<sup>5</sup> この実験の進行の過程で、光子の反応に特有の( $\gamma, \pi^\pm$ )についてターゲット核を変化させてその系統性を調べる実験も行った。特に( $\gamma, \pi^-xn$ )反応による生成核は、高エネルギーの陽子の反応では生成しにくい核であり、化学分離することにより容易に測定可能なことから、この実験で得られる特異的なデータとして追いつけた。<sup>6</sup> さらに、ターゲット核より原子番号が2つ上の生成核が得られる( $\gamma, 2\pi$ )反応についても、反応生成核の検出を試みたが、残念ながらこちらの方は有意な結果は得られなかった。また、高エネルギー核反応に特有のフラグメンテーション過程で生成する軽核の測定も行い、ハドロン反応の結果との相違について比較検討した。この軽核のうち<sup>10</sup>Be、<sup>26</sup>Alの測定は、東京大学のタンDEM加速器に設置されて間もない加速器質量分析(AMS)により行った。<sup>7</sup> 得られた一連の実験結果を理論的解析結果と比較するために、PICAコードを、アメリカのコードを作成した研究者から送ってもらい解析に用いることで、得られた結果の信頼性を確認した。<sup>8</sup>

また、KEKの12 GeV陽子で照射した試料を、筑波大学の森茂樹教授（当時）のご好意で譲り受けることができ、12 GeV陽子からのフラグメンテーション生成核<sup>10</sup>Be、<sup>26</sup>Alの測定をAMSにより行った。このエネルギーでは、ターゲット核の質量が増加するにつれこれら軽核のフラグメンテーション過程による収率が増加することを定量的に示すことができた。<sup>9</sup> この結果と光子反応の結果から、この入射エネルギー領域では光子反応でのフラグメンテーション生成核の収率の方が低いことがわかった。これは、上記の光子とハドロンの反応におけるターゲット核に持ち込まれる励起エネルギーの違いとも矛盾しない結果であった。<sup>7</sup>

## 5. 準単色中性子核反応断面積測定

1980年代半ば頃、中性子による核反応断面積は、中性子エネルギーが数10 MeVをこえると単色中性子が得られないこともありデータは極めて少ない状況であった。この領域の断面積は、放射線場における放射化の評価、加速器遮蔽、宇宙化学など様々な分野における基礎データとして極めて重要であることから、核研の学際研究室（1980年代半ばの所内改組により放射線管理室（当時、中村尚司助教授、上養義朋助手、大久保徹技官）と化学室が合同して学際研究室（合同後、佐藤信吾技官、中村助教授異動後に柴田徳思教授）となった）では、SFサイクロトロンにp-Be準単色中性子場を設置し、得られる中性子スペクトルを測定、評価し、この準単色中性子を利用して核反応断面積の測定実験を行った。上記の光核反応の( $\gamma$ ,  $\pi^\pm$ )反応について、それぞれ二次的に発生した中性子、陽子により同じ生成核が得られることから、これらの光核反応の議論に対しては、二次反応の補正が必要である。陽子については十分な報告値があるが、数10 MeV領域の中性子核反応断面積のデータはほとんどない。そこで、この中性子場を利用して実験を行った。また宇宙化学的に興味のある長寿命放射性核種の生成断面積の測定も行った。

しかしながら実験が進行すると、このp-Be中性子場で得られる中性子の単色性は必ずしも十分ではなく、よりよい精度で生成断面積を求めるために、p-Be場からより単色性の優れたp-Li場に変更して<sup>10</sup>実験を継続した。<sup>11</sup>このp-Li中性子場は、核研のSFサイクロトロンに設置されたのを最初として、その後、より高エネルギーの中性子を求めて、原研高崎（当時）のサイクロトロン、理研のリングサイクロトロン、大阪大学核物理研究センター（RCNP）のリングサイクロトロンにも設置された。RCNPでは200 - 400 MeVの中性子が得られ、現在私の研究室でもU.C. Berkeley、大阪大学のグループと共同で準単色中性子核反応断面積の測定実験を行っている。<sup>12</sup>

## 6. ニュートリノ質量測定 — LB膜線源調製

1980年代、核研では、トリチウムの $\beta$ 線スペクトルの測定からニュートリノの質量を求める

研究が行われた。ニュートリノは、 $\beta$ 壊変におけるエネルギー保存則を満たすためにパウリにより導入された粒子であり、その質量はゼロに近いと考えられてきたが、理論的にゼロである必然性がないために、その質量の測定が行われてきた。1979年までに10編に及ぶ実験結果が発表され、その都度その上限値は下がってきたが、有限値を与えた結果の発表はなかった。ところが、1980年に旧ソ連のグループが、トリチウムの $\beta$ 線スペクトルの測定から初めて有限値 ( $14 \text{ eV} < m_\nu < 46 \text{ eV}$ ) を発表した。現在では、スーパーカミオカンデでの測定からニュートリノが質量をもつこと、その質量はeVよりもはるかに小さいことが確かになってきているが、当時この発表は、ニュートリノがこのオーダーの質量をもてば暗黒物質の候補にもなりえることで、非常な注目を集め、世界各地でこの結果を検証するための実験が開始された。核研でもこの検証実験を行うことになり、私もこの研究グループの一員としてこの実験に加わった。そして、グループ内で唯一化学のバックグラウンドをもつ研究者として、 $\beta$ 線スペクトル測定のための線源調製を担当した。

当時核研にあった空芯ベータスペクトロメータを用いた優れたエネルギー分解能でスペクトルを得るためには、使用する線源の幅が狭く、かつ線源の厚さができるだけ薄いという条件を満たす必要があった。このニュートリノ質量測定の実験のためには、トリチウムの $\beta$ 線スペクトルのend-point付近 ( $\sim 18 \text{ keV}$ ) のスペクトルの形を正確に測定する必要がある。そのためには統計量を稼ぐ必要があり、必然的に高強度の線源が求められる。この実験では、高放射能の線源でエネルギー分解能が優れたスペクトルを得ることが最も重要であった。しかしながら、通常の方法で高強度の線源を調製すると必然的に線源が厚くなり、エネルギー分解能が失われるというジレンマがあった。我々はこの問題を、次の2つの方法により解決した。即ち、(1)線源の調製法として、界面物性の分野等で用いられているラングミュア・プロジェクト (LB) 法を採用した。この方法で、線源の厚さが単分子膜厚単位で制御可能で非常に薄く、しかも分子サイズのレベルで均一で、さらに線源の面積を大きくすることで放射能

強度を高くすることができた。(2) 大面積にしたことによる焦点のずれは、線源の位置に応じて電位を与えて $\beta$ 線を加減速し、再び $\beta$ 線を1点に集束させる非等価ポテンシャル法を採用することにより解決し、高分解能を実現した。

我々は、できるだけ比放射能を高くするために、線源物質として炭素数20のアラキジン酸のカドミウム塩を選び、その2分子膜の形で、大面積(60 mm × 200 mm)で、かつ高放射能の以下の2種類のLB膜線源を調製した。(1) トリチウム線源：トリチウム標識化アラキジン酸と安定なカドミウムを結合させたものと、(2) 標準線源(エネルギーの絶対較正、測定系の応答関数の導出、測定系の安定性のモニターに用いる)：安定なアラキジン酸と放射性核種 $^{109}\text{Cd}$ を結合させたもので、LB法では、化学的には全く同じに両線源を調製でき、これにより、信頼性の高い応答関数を実験的に求めることができる。これは、我々のグループの実験の大きな特徴であった。実際のLB膜線源の調製は水平付着法で行い、そのための調製装置はグループで独自に開発した。均一性の良いLB膜線源を再現性よく調製することは非常に難しい命題ではあったが、何とか克服できた。<sup>13, 14</sup> また、このLB膜線源の線源厚さが2分子層で $\sim 50\text{\AA}$ と薄く均一なことから、 $^{109}\text{Cd}$ からのオージェ電子スペクトルを、それまで報告されていた結果より高分解能で精密に測定できた。<sup>15</sup>

この実験はほぼ10年にわたって行われ、最終的に旧ソ連のグループのデータを否定する結果を得た。<sup>16</sup> そして私は、この結果を、グループを代表して3つの国際会議で発表する機会を得た。そのうちの1つ、1990年に旧チェコスロバキアのプラティスラバで開催された14<sup>th</sup> Europhysics Conference on Nuclear Physicsに出席するために現地に列車で着いた時、当時はまだ共産圏の国で、現地の通貨も持たず銀行も閉まっていた、ホテルまでどうして行こうかと思案していた時にひとりのおじさんが話しかけてきて、親切にもホテルを通るバスに乗せてくれ、自分が持っていたバスのチケットを運転手に渡してくれた。十分にお礼も言うことができななかったが、その時受けたさりげない親切は忘れられない。また、この会議のchair manを務めていたのが、低レベル放射

能測定 of 研究者でたびたび訪日されている当時 Comenius Univ. の Povinec 教授であった。

## 7. 原爆中性子線量評価に関する研究

核研で私が所属していた学際研究室は業務として所全体の放射線管理を担当していたが、1990年代の初め頃、核研は大型ハドロン計画と呼ばれた将来計画の実現へ向けて努力していた。そして、この計画の推進の一環として、運転を終了して10年程経過していた古い加速器(FM/FFサイクロトロン)が設置されていた建屋を、この計画のため新しい加速器を入れる建屋として整備することが決定され、FM/FFサイクロトロンを解体することになった。この解体にあたって、学際研究室では、発生する放射性廃棄物の保管庫を新設するとともに、サイクロトロン本体及びその周辺の残留放射能を測定し、放射化の程度を評価する作業を開始した。最終運転時から10年が経過していたが、その材質から、半減期5.27年の $^{60}\text{Co}$ の $\gamma$ 線は容易に検出でき、サイクロトロンの各部位の残留放射能分布を求めることができた。学際研究室では、 $^{60}\text{Co}$ のほかにも検出可能な放射性核種について測定することを決定し、材質と半減期から $^{55}\text{Fe}$ (半減期:2.73年)、 $^{63}\text{Ni}$ (半減期:100年)に注目した。 $^{55}\text{Fe}$ は軌道電子捕獲壊変核種で $\gamma$ 線を放出しないためX線(5.9 keV)の測定をSi(Li)検出器で、 $^{63}\text{Ni}$ は $\beta^-$ 壊変核種と同様に $\gamma$ 線を放出しないため $\beta$ 線(最大エネルギー:67 keV)の測定を液体シンチレーションカウンタで行った。

核研では、その当時話題となっていた17 keVの重ニュートリノの存在の有無の検証実験を $^{63}\text{Ni}$ の $\beta$ 線測定により行っており、最終的にその存在を否定する結果を得た<sup>17</sup>が、私もこの実験グループのメンバーとして電着法による線源調製を担当した。このようなことからニッケルの化学分離を含めた $^{63}\text{Ni}$ の残留放射能測定は主として私が行うことになった。

サイクロトロンの各部位での残留放射能の測定結果から、それぞれの部位に照射された中性子線量の評価が可能になる。学際研究室では、このことに注目して検討を進め、原爆の中性子線量評価への応用を研究テーマとして取り上げた。

当時、原爆中性子線量評価にはDS86 (Dosimetry System 1986) が用いられていたが、このDS86による評価値と残留放射能の測定値との間には、爆心から近距離では計算値が大きく、遠方では測定値が大きいという系統的な相違が認められていた。この問題の解明のために速中性子生成核種 $^{63}\text{Ni}$ の測定が有効と考えられ、この研究がスタートした。<sup>18</sup>

この原爆中性子線量評価のためには、 $^{63}\text{Cu}$  (n, p)  $^{63}\text{Ni}$  反応の核反応断面積が基礎データとして不可欠であるが、その測定値がほとんど報告されていないことがわかり、核研のSFサイクロトロンの中性子場はこの実験のためにはエネルギーが高すぎたので、東北大学高速中性子実験室のダイナミトロンに設置された中性子場を利用して、この反応の励起関数を測定する実験を開始した。この実験ではターゲットとして銅の中空の球殻ターゲットを用いるなど、核反応断面積を中性子エネルギーに対して連続的に得るための工夫をした。得られた励起関数は原爆中性子のエネルギー領域では、JENDL-3.3、ENDF/B-VI、FENDL/A-2.0による計算値と矛盾はなかった。<sup>19</sup>

この研究で用いた原爆で被爆した銅試料は、広島大学から採取された雨樋と原爆ドームの屋根の部分から採取されたもので、特に雨樋試料については約2 kgもの大量の銅からニッケルを抽出するという大変な化学分離の作業が行われたが、どちらの試料に対しても、 $^{63}\text{Ni}$ の $\beta$ 線スペクトルを明確に測定することができた。この結果は新しい線量評価システムDS02ともよく一致した。<sup>20, 21</sup>

この研究は、放射線管理の現場から生まれたものであり、サイクロトロン解体の際、 $^{60}\text{Co}$ の測定で残留放射能の測定は十分としてそこで終わっていたならば日の目を見なかった研究である。また、この研究は核研時代に開始したが、ここに紹介した成果が得られたのは、私が京大原子炉へ異動後のことである。

## 8. マルチトレーサ調製法の開発とその応用

ある体系中の元素の挙動を追跡するために添加する物質のことをトレーサというが、そのうち放射性トレーサは壊変の際に放出する放射線を測定することで感度よく元素の挙動を追跡でき

ることから広く利用されている。従来、放射性トレーサは単独で利用されるケースがほとんどであったが、理研のグループは、リングサイクロトロンが新たに設置されたことに対応して重イオン核反法を利用してマルチトレーサの調製法を開発した。マルチトレーサ法とは、核反応により生成した多くの元素の放射性同位体を用いることにより、それらの元素の化学的挙動を同時に追跡できる新しい技術である。この特徴は、同一の実験条件で、多くの元素の化学的挙動について同時に追跡できることにある。

京大原子炉に着任するにあたって、この技術を原子炉中性子を用いた核分裂反応生成物に応用できないかと考えた。核分裂生成物は、かつて大気圏内核実験が行われていた頃は、死の灰として恐れられていたもので、それを有効利用するための基礎研究と位置付けて研究をスタートさせた。京大原子炉では、私がそれまでに利用してきた多くの加速器施設とは異なって、ウランを利用できることが1つのモチベーションになった。この実験のポイントは、核分裂生成物をどのようにしてターゲットとして用いる $\text{UO}_2$ から迅速に分離して、マルチトレーサ溶液とするかであった。何回か試行錯誤の照射実験の後、ホットラボでの雑談中、思いがけず貴重なヒントを得て、核分裂生成物を捕獲する物質を加えることによりこの課題を解決できた。<sup>22</sup> こうして原子炉照射によるマルチトレーサの調製法を予想より短期間で確立でき、トレーサ溶液をアンプルに封入し、共同利用研究者へ供給するために所外へ搬出することも可能とすることができた。また、このマルチトレーサの中からユーザーの要望に応じて必要なトレーサを抽出するための化学分離法も開発できた。<sup>23</sup>

## 9. おわりに

私は核研の時も京大原子炉に移ってから一貫して業務として放射線管理を担当する研究室に所属してきた。それと同時に、研究面では加速器、原子炉等の全国の共同利用施設をユーザーとして利用してきた。振り返ってみると、管理業務を担当しながらでも、やりたい研究を存分に行うことができた幸せな充実した研究生活であった

と思う。ここでは一人一人のお名前を記すことはできなかったが、共同研究者、研究協力者の方々、このような恵まれた環境を与えていただいた皆様にこの場をお借りして心から感謝申し上げます。

#### 参考文献

- (1) S. Shibata et al., Preparation of manganese-53, *J. Radioanal. Chem.* **36** (1977) 11-18.
- (2) T. Nishi et al., Cross sections of negative-pion-induced reactions in  $^9\text{Be}$ ,  $^{12}\text{C}$  and  $^{19}\text{F}$  nuclei between 0.4 and 1.9 GeV, *Nucl. Phys. A* **352** (1981) 461-476.
- (3) S. Shibata and P. J. Karol, Identification of 26-minute Zr-84, *Can. J. Chem.* **61** (1983) 754-756.
- (4) S. Shibata et al., Absolute g-ray abundance of  $^{87}\text{Zr}$ , *Radiochim. Acta* **46** (1989) 1-3.
- (5) S. Shibata et al., Photonuclear spallation reactions in Cu, *Phys. Rev. C* **35** (1987) 254-262.
- (6) K. Sakamoto et al., Barium and xenon isotope yields in photopion reactions of  $^{133}\text{Cs}$ , *Phys. Rev. C* **42** (1990) 1545-1558.
- (7) S. Shibata et al., Yield measurements of  $^7\text{Be}$  and  $^{10}\text{Be}$  produced by photonuclear reactions at intermediate energies: Intercomparison of fragmentation processes between photon- and proton-induced reactions, *Radiochim. Acta* **80** (1998) 181-187.
- (8) S. R. Sarkar et al., Photospallation of complex nuclei at intermediate energies-III: Comparison with PICA calculation, *Radiochim. Acta* **62** (1993) 7-16.
- (9) S. Shibata et al., Measurements of  $^{10}\text{Be}$  and  $^{26}\text{Al}$  production cross sections with 12 GeV protons by accelerator mass spectrometry, *Phys. Rev. C* **48** (1993) 2617-2624.
- (10) Y. Uwamino et al., High-energy p-Li neutron field for activation experiment, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A* **389** (1997) 463-473.
- (11) S. Shibata et al., Measurements of the production cross sections of tritium from oxygen using p-Be and p-Li neutrons up to  $E_n = 38$  MeV, *Radiochim. Acta* **75** (1996) 1-6.
- (12) S. Sekimoto et al., Measurement of neutron cross sections for yttrium and terbium at 285 MeV, *Prog. Nucl. Sci. Tech.* **1** (2011) 89-93.
- (13) 柴田誠一、羽賀勝彦、超精密電子線分光を可能にした均一な大面積（高放射能）LB膜線源、*日本物理学会誌* **45** (1990) 178-184.
- (14) S. Shibata et al., Large-sized and highly radioactive  $^3\text{H}$  and  $^{109}\text{Cd}$  Langmuir-Blodgett films, *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A* **350** (1994) 263-274.
- (15) H. Kawakami et al., Precise measurement of Ag KLL Auger-spectrum, *Phys. Lett. A* **121** (1987) 414-418.
- (16) H. Kawakami et al., New upper bound on the electron anti-neutrino mass, *Phys. Lett. B* **256** (1991) 105-111.
- (17) T. Ohshima et al., No 17 keV neutrino: Admixture  $< 0.073\%$  (95% C.L.), *Phys. Rev. D* **47** (1993) 4840-4856.
- (18) T. Shibata et al., A method to estimate the fast-neutron fluence for the Hiroshima atomic bomb, *J. Phys. Soc. Jpn.* **63** (1994) 3546-3547.
- (19) K. Takamiya et al., Excitation function for  $^{63}\text{Cu}$  (n,p)  $^{63}\text{Ni}$  reaction in neutron energy range up to 15 MeV, *Appl. Radiat. Isot.* **66** (2008) 1321-1324.
- (20) 柴田誠一 他、液体シンチレーション法による広島原爆被爆銅試料中の  $^{63}\text{Ni}$  の測定、*放射線* **32** (2006) 146-154.
- (21) S. Shibata et al., Measurement of  $^{63}\text{Ni}$  produced in Cu samples by the Hiroshima atomic bomb, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **273** (2007) 517-520.
- (22) K. Takamiya et al., Preparation of multitracer by thermal neutron fission of  $^{235}\text{U}$ , *J. Nucl. Radiochem. Sci.* **1** (2000) 81-82.

- (23) S. Shibata et al., Separation of radionuclides in a multitracer prepared by thermal neutron fission of  $^{235}\text{U}$ , Appl. Radiat. Isot. **60** (2004) 625-628.

## ニュース

### 新学術領域研究（研究領域提案型）「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」とその立ち上がり

五十嵐康人（気象研究所 環境・応用気象研究部）

#### はじめに

2011年3月11日の東北大震災後に発生した福島第一原子力発電所の事故推移のテレビ報道にハラハラしながら、解説に登場する原子力工学者の「大丈夫だと思います」が正しくあってほしいと祈りつつ、遣る瀬無く過ごした時から早や2年が経過しつつある。自分たちができることは、せいぜい大気試料のサンプリングとその放射線計測だけだろうという期待は見事に外れ、今に至るまで、状況に翻弄されつつ、ただただ慌しい時間を過ごしている。そんな中、幸か不幸か東北大の大槻さんから放射化学ニュースへの執筆依頼を受けた。折角のスペースである。何を書こうか迷ったが、昨年7月末には、関係者の継続的な努力により漸く新学術領域研究（研究領域提案型）「福島原発事故により放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究（代表：恩田 裕一筑波大学生命科学研究科教授）」（以降、恩田新学術と略記）が立ち上がって活動を継続している。小生もその重責の一部を担っており、その紹介を行うのが手っ取り早いと考えた。

科研費新学術領域研究は、文部科学省科学研究費補助金（科研費）制度による極めて大型の研究プロジェクトである。従来の特定領域研究に代わり、新たな学問領域の開拓や若い研究者の育成等を重要視して設けられたものと理解している。平成20年度からスタートし、毎年20～30前後の新規提案が採択されている。その詳細は下記HPにある。

[http://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/34\\_new\\_scientific/index.html](http://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/34_new_scientific/index.html)

科研費は、研究者からの主体的な提案と相互レビューによる審査に基づく我が国固有の人文社会科学から理学、工学、医学、農学等すべての分野を含む総合的な研究費の制度である。今回のような原子力の重大事故や災害においては、政府

によるトップダウン的な調査研究も重要であるが、研究者の自発的な意思にもとづくボトムアップ的な調査研究が、国民の科学技術への信頼感を取り戻すためにも、極めて重要であろう。恩田新学術には、本学会の会員も多数の方が計画班代表者、分担者、連携研究者、協力者として参画しており、本稿執筆時に高エネルギー加速器研究機構において開催された第14回「環境放射能」研究会においても福島事故は大きな話題であった。事故の影響評価やその收拾・根本的な解決は、多くの会員が興味を有する問題であろう。ところが、印刷物となったものはほとんど無いため、恩田新学術の内容や現状は案外と知られていないようでもある。そこで、本稿ではその簡単な紹介（詳細は同領域研究のHPである<http://isetr.suiri.tsukuba.ac.jp/>に譲りたいが）とともに、忘却の彼方に消える前に若干の重要な前史を書き留めておこう。

#### 恩田新学術の目的と構成

恩田新学術領域研究の目的と構成は領域計画書を参照するのが一番であろうから、主要な部分を以下に貼り付け、補足して説明を行おう。

「本領域研究の目的は、放射性核種の拡散・輸送・沈着・移行過程を同定し、その実態とメカニズムを解明すること、および、それに基づき長期的な汚染状況の予測と被ばく線量の低減化のための方策を提示することである。これまですでに、大気、海洋、陸水による物理化学過程および生態系への移行など、さまざまな循環が進行しているため、その影響や相互作用は多岐にわたる。このため、放射化学、地球化学、大気科学、海洋科学、水文地形学、生態学、森林科学など、多分野の研究者による学際的で総合的な研究を実施する。

以上の目的のため、本領域研究では、研究項目

を大まかに4項目（研究項目 A01～A04）に区分したうえで、協働で各研究を深化させるとともに、相互にフィードバックを図れるように設定する。（図1、2参照）[研究項目 A01]では、放射性物質の大気への影響に着目し、放射性降下物大気循環モデリングと移行過程の理解、および大気沈着・拡散過程、陸面相互作用の理解を目指す。[研究項目 A02]では、放射性物質の海洋への影響に着目し、海洋、海洋底における放射性物質の分布状況要因把握、および海洋生態系における放射性物質の移行・濃縮状況の把握を目指す。[研究項目 A03]では、放射性物質の陸域での移行に着目し、水・土砂移動に伴う放射性物質の移行過程の理解、および、陸域植生、生態系の放射性物質の移行過程の理解を目指す。[研究項目 A04]では、移行に伴う放射性物質の存在形態の解明および測定技術の開発に着目し、さまざまな化学形態における放射性物質測定技術の開発を目指す。本研究では、このような他分野横断的なチームを立ち上げ、地球環境科学の関連分野の連合体を核として複数の関連異分野を取り込む構成によって、汚染状況の実態把握と放射性物質の移行・拡散過程のモデル化を図る。そして、研究を通して、長期対策を要する科学的知見とモデル基盤を確立する。このように福島原発事故に伴う放射性核種の環境動態に関する学際研究を通じて、わが国の地球環境科学の学術水準を強化し、

世界をリードする新たな研究領域の形成を目指すものである。

こうした学術基盤は、将来万一同種の事故が発生した場合のみならず、花粉・大規模森林火災などによって森林に蓄積された物質の飛散や、火山爆発などの発生時に大規模な環境影響の広がりを予測するためにも役立つという点で幅広い適用が期待できる。」

このように、恩田新学術においては「放射化学、地球化学、大気科学、海洋科学、水文地形学、生態学、森林科学など、多分野の研究者による学際的で総合的な研究」という点が重要であり、「わが国の地球環境科学の学術水準を強化し、世界をリードする新たな研究領域の形成を目指す」というのが究極的な目標となる。いたずらに風呂敷を広げたわけではなく、どこまで研究を進められるか文字通り「真剣勝負」となるであろう。世界からも注目が集まっているというのも気負い過ぎとは言えない。

次に各研究班によるその任務分担と役割である。こちらでも領域計画書からの貼り付けではあるが、内容が簡潔に整理されていることもあり、眺めていただきたい。8つの計画研究班が設定され、それぞれが科研費の基盤AまたはSに相当する研究規模で他班と連携しつつも独自の研究計画を作成し進め、福島事故の環境インパクトの全容解明を目指している。

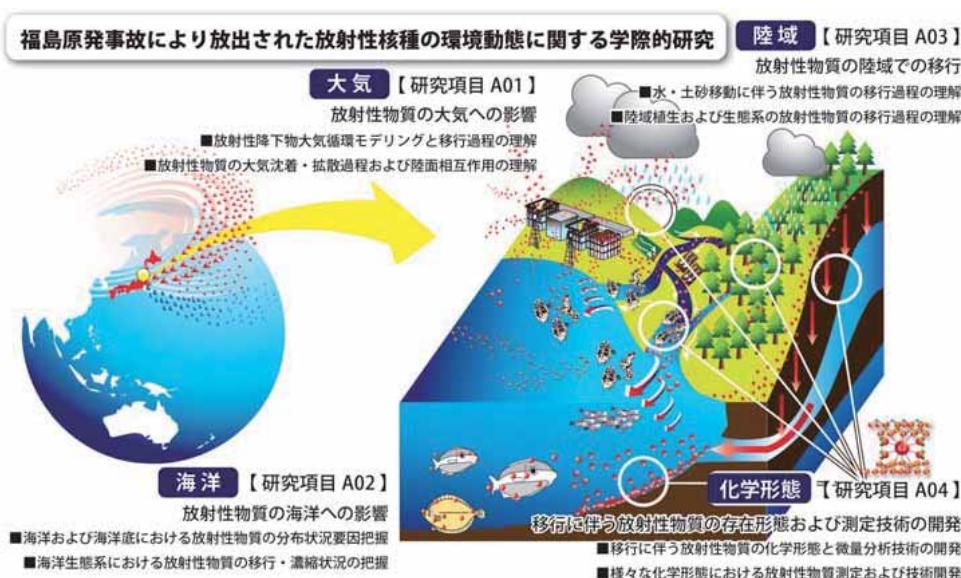


図1 恩田新学術領域研究の目的と各計画班の役割



「[A01] 放射性物質の大気への影響（研究計画 A01-1・2）

- 領域スケールから全球スケールでの放射性物質の大気輸送モデリングにより、大気輸送・沈着・拡散過程の理解と再現を複数のモデルを用いて行う。それによって陸面と海洋への沈着量の推定を行う。（A01-1 主担当、A01-2 および海洋班 A02-3 と連携）
- 事故直後から研究実施期間までの大気放射性物質（大気エアロゾル）の収集および分析により、そこに含まれる放射性物質の種類、放射性核種の濃度の時間・空間的変動調査を行い、放射性物質の沈着過程を明らかにする。（A01-2 主担当、化学班 A04 と連携）
- 土壌・生態系に沈着した放射性物質の再飛散過程の理解・再現から、大気陸域間の放射性核種の移行に関する相互作用のモデル化を行う。（A01-2 主担当、陸域 A03-3 および植生 A03-4、大気モデル A01-1 班と連携。）

[A02] 放射性物質の海洋への影響（研究計画 A02-3・4）

- 日本沿岸および北太平洋地域において海水、海洋堆積物および海洋生物を採集し、それらの放射性物質の分布状況を把握し、分布の要因を考察する。海洋・海洋底の放射性核種については、その物理過程を細密に調査し、モデル化を図る一方、海洋生物中の放射性物質の濃縮過程を調査し、今後の移行過程の予測に寄与する。（A02-3、4 主担当。大気輸送モデル A01-1、陸水からの輸送 A03-7、化学班 A04 と連携）

[A03] 放射性物質の陸域での移行（研究計画 A03-5・6）

- 計画避難区域内外広域の地域において、土壌・植生より地下水・河川・河川生態系へ水・土壌とともに移動する放射性核種の観測、将来予測を行う（A03-5）
- 土壌・植生に蓄積した放射性核種量・蓄積形態の理解に基づき、GIS データ・気象データを併用して、事故発生時の放射性核種の降下沈着（フォールアウト）量を推定し、モデル初期データ・検証データとする。（A03-4 主担当、A01-1、A01-2、A03-3 と連携）
- 森林に沈着した放射性セシウムの森林生態系内

での定常的循環および生態系外への拡散について、その循環過程モデルの構築とメカニズムの解明を行う。（A03-6 主担当、A03-5 と連携）

[A04] 移行に伴う放射性物質の存在形態および測定技術の開発（研究計画 A04-7・8）

- 既存の装置および新規微量測定技術先端技術を最大限活用することにより、微量の放射性核種を測定する技術を開発するとともに、移行過程における化学形態を解明する。また、総括班と連携して、研究項目 A01-A03 における測定の支援を行う。
- 福島原発事故により拡散された核種の実態把握を測るとともに、それぞれの核種が移行の過程においてどのような化学形態をとり環境中に移行するかについて、放射性核種の測定・将来予測を行うとともに、研究項目 A01-A03 における測定の支援を行う。

概要は以上であるが、とくに、(i) 現場観測・サンプルデータを基本とし、放射化学の専門家による強力な基盤のもと地球環境科学の関連分野の連合体を核として複数の関連異分野を取り込む構成による汚染状況、背景の理解を重視する。(ii) 最先端のモデルと気象海洋・水文機関による定常観測データ・衛星計測を活かすことで循環過程の理解を深め、分野融合的学術研究分野の進展に寄与する。(iii) 総括班による相互連携活性化の下、通常別々の学会で活動する専門家が他班や公募研究の研究者と相互連携し、関連分野の強化発展に寄与する。」

上記に加えて、新学術領域研究においては総括班を設けて、全体の調整と連携を図っている。総括班の役割分担がよく把握できるために、恩田新学術の紹介の最後として、以下に貼り付けを行う。

「総括班：領域研究の支援・推進と統括

【総括班の役割】本研究領域内の計画研究や公募研究の有機的なつながりを強め、効率的に領域研究が進むことを支援するために総括班を設置する。本研究領域は、地球環境科学の諸分野に加え放射化学と広い範囲を扱うことから、8つの計画研究班と複数の公募研究を有機的に連携させ、能力の高い個々の研究者間の相互啓発を促して、独創的な研究成果があがるような体制を構築し、常

に配慮を怠らないことが、総括班に求められる。各計画研究班が他のすべての計画研究・公募研究課題と密接に連携しながら研究を進めることができるように、以下のように2つの支援活動や研究会を統括する。また我々は、新しい研究領域を創生していく中心であるから、複眼的視点を持ち、異分野の研究者とも積極的に意見交換のできる若手の育成に努める。当該課題の研究会参加はもちろんのこと、総括班に十分な旅費を持ち、国内外の大きな学会に積極的に参加発表するチャンスを与える。

【研究組織】総括班は全計画研究班の代表とデータベースワーキンググループと分析チームの各リーダーからなる。分析チームリーダーは、A04-8 篠原が兼務する。

恩田裕一（領域代表，A03-5 代表；筑波大学；水文地形学）

中島映至（A01-1 代表；東京大学；気象学）

五十嵐康人（A01-2 代表；気象研究所；大気エア

ロゾル学）

山田正俊（A02-3 代表；弘前大学；海洋学）

神田穰太（A02-4 代表；海洋大学；海洋生物学）

竹中千里（A03-6 代表；名古屋大学；森林環境学）

山本政儀（A04-7 代表；金沢大学；環境放射能学）

篠原厚 分析チーム（リーダー）を兼務（A04-8 代表；大阪大学；放射化学）

北和之 データベースワーキンググループ（A01-2 分担研究者；茨城大学；大気環境学）」

「科学研究費補助金審査部会における所見」が文部科学省HPに示されている。そこには、採択に至った背景・理由とともに、領域への意見が示されている。厳しい意見も含まれており、採択になった喜びとともに緊張を感じる。

「本研究領域は、2011年3月に発生した福島第一原子力発電所の事故を受けて、放出された放射性核種の拡散・輸送・沈着・移行過程の実態とメカニズムを研究・解明し、さらに、長期的な汚染状況の変動を予測しようとするものである。国が

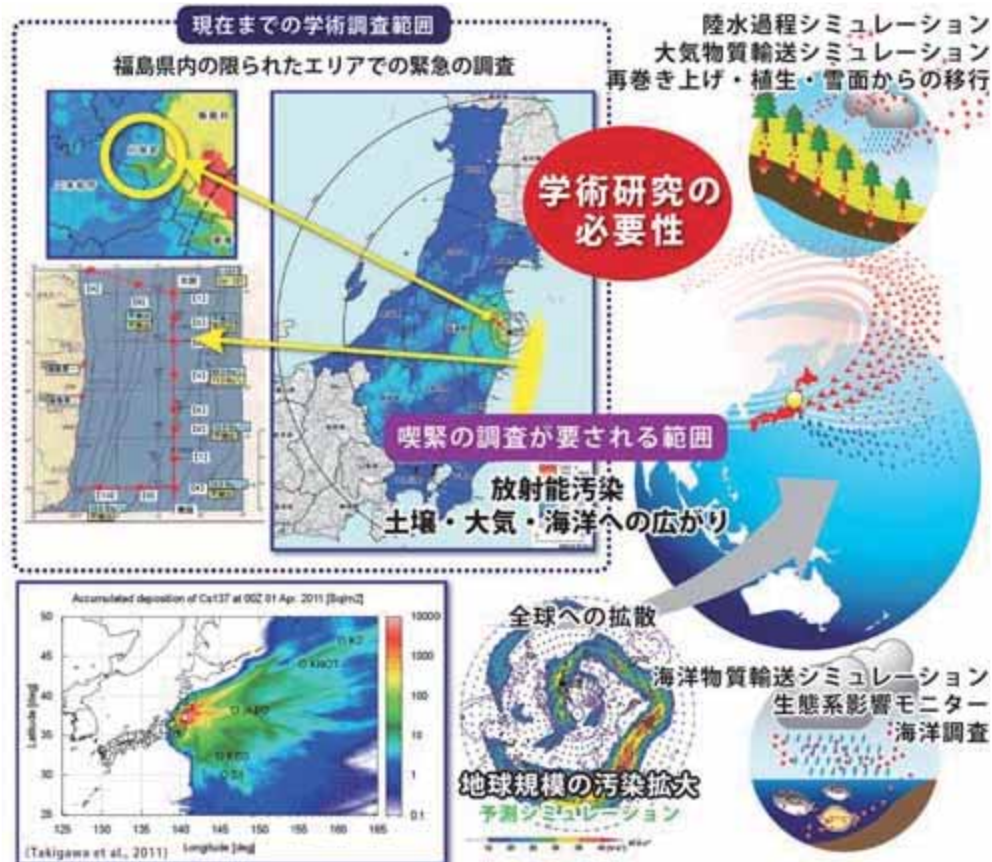


図2 新学術領域研究の必要性

先導する取組が既に進行しているが、それとは別にボトムアップの視点から実施する本課題の重要性は大きい。

大気、海洋、陸水による物理・化学過程及び生態系への移行など、放射性核種の様々な循環の影響や相互作用を明らかにするために、放射化学、地球化学、大気科学、海洋科学、水文地形学、生態学、森林科学など、多岐にわたる分野の研究者が連携した計画となっている。本研究領域では、国のモニタリングより広い研究領域を対象としており、領域終了後も研究継続を想定した10年の長期計画になっている。学術的にも色々な観点からデータをとって研究をすることに意義がある。時宜を得た研究領域であり、新しい異分野融合として定着することを期待する。

これらの目的の達成には、大気、海洋、土壌、植生等の多領域を結合したシステムの環境動態に対してどのような新しい知見がもたらされるのか、考えられる多数のサブシステムモデルを検証するためにはどのような測定が必要か、等が重要な課題となる。震災を契機として新しい融合研究領域が形成されることによって、これら課題の解決への端緒を開くことができると期待される。また現状では、環境動態に特化した組織構成になっているが、今後の進捗状況によっては医学系領域などを公募研究として取り込むことによって新たな展開を図ることも可能である。」

### 恩田新学術に至るその前史

さて、恩田新学術の実現に至る伏線として、事故から10日あまりのうちに開始された放射化学者、地球科学者の努力と協力があった。2011年3月23日までには、関東地方への2回の放射性物質の輸送があり、水道水にまで放射性ヨウ素やセシウムが検出される事態となった。SPEEDIによる放射性物質拡散予測が公表されないことに危機感を覚えた地球科学者からの連絡が、環境放射能を扱う大気研究者ということで小生にも届くようになった。その後わずか10日間あまりで、特別研究促進費の申請書の様式が準備され、我が放射化学会現会長の海老原充教授（首都大学東京；当時日本地球化学会会長）が課題代表者となり、緊急対応として文部科学省への提案が行われ

た。調査に赴くにも「完全手弁当」では限りもあることから、この提案では最低限の旅費・消耗品を経費として積算し、新学術領域研究に比べれば数%程度の子算額およそ2千万円で申請された。H23年度、24年度の二か年計画で北は弘前から南は沖縄に至るまで18機関（大学、研究機関等）から30名の研究分担者が名前を連ねている。連携研究者、研究協力者を含めれば、北は北海道からとなってさらに人数は拡がり、この時点においてすでに放射化学、地球科学としてかなり「オールジャパン」の体制に近い状況に達していた。こちらについても少し提案の中味を貼り付けてみよう。

### 「研究目的

2011年3月11日に発生したM 9.0の大地震は津波の被害とともに、関東北部から東北の太平洋岸を中心に甚大な被害をもたらした。この直接的災害に加えて、この東日本大震災のもう一つの大きな被害が東京電力福島第一原子力発電所の事故によってひきおこされた。原子力発電所が機能を失い、原子炉施設から放射性核種が周辺地域に飛散し、その後の気象条件に応じて周辺に拡散している。その結果として生じた農産物をはじめとする食料と飲料水についての放射性物質の汚染は一般住人にとって最大の関心事で有り、農耕地土壌への汚染は農業生産者にとって深刻な問題を投げかけている。こうした不安を少しでも解消し、また、放射性物質による環境汚染の影響を少しでも客観的に予測することは喫緊の課題と言える。

この課題に速やかに、かつ効率的に取り組むべく、地球惑星科学連合に所属する地球化学、大気化学の専門家、および放射化学の研究者が連携して本研究を立案した。この研究では、大気、降水、土壌、地下水のサンプリングを系統的に、かつ広範囲に行い、精密な放射化学分析を実施することにより、正確で客観的な情報を取得し、関係機関や国民に提供する。また得られたデータから出来るだけ多くの科学的知見を抽出し、適切に社会に公開する。具体的には、原子力発電所から環境中に放出された放射性物質を時間的、空間的に追跡し、環境に放出された放射性核種の種類と量について全体像を把握するとともに、環境中への放射

性核種の輸送・拡散・沈着・蓄積の諸過程を詳細に既述する。さらに、その結果をもとに、放射線の環境への影響を科学的に評価し、今後の原子力利用の安全性を高めていくための議論にも波及できるものと考えている。

以上述べたことをまとめると、本研究の目的は次の諸点に集約される：

1. 広範囲な地点における大気・降水・土壌を対象に、統一的なプロトコルに基づくサンプリング、試料調整、放射性物質の精密測定を実施することで、本原子力発電所事故で環境中に放出された放射性物質の量を核種毎の質の保証されたデータを取得する。
2. 各地における大気・降水中の放射性物質の種類ごとの量の変動を気象条件と対応させながら定量的に理解し、それら物質の大気輸送による空間的広がりを時系列的に追跡する。
3. 現在まだ十分データが得られていない土壌についてのサンプリングを緊急かつ系統的に実施し、放射性物質の精密な分析を行う。それにより、大気中を輸送され各地の土壌に蓄積されていく放射性物質分布を明らかにする。

さらに、このデータを今後詳細に解析していくことで、環境への放射性物質の蓄積と除去のメカニズムに関する知見を得るとともに、比較的長期的な健康や農業への影響を把握し、適切な対応を取るために役立てる。

4. 本研究で得られたデータを系統的に収集し、データアーカイブとして保存する体制を作る。さらにこれまで各機関により測定報告されているデータについても、データの信頼性などに関して客観的評価を加えた上でアーカイブに加え、今後の詳細な解析のために基礎となるデータセットとする。また、これらの観測データを、気象場解析や数値モデル計算と組み合わせることによって輸送過程の理解を深める。これらのデータと解析結果を適宜、公開し、今後のモデリング研究や影響評価研究への波及効果を作り出す。」

このように緊急研究提案は、その後の恩田新学術で扱われる研究内容を多く含み、比較的の高い研究水準が実現できるものだったと判断される。この提案について、2011年4月5日には、文部科学省学術研究助成課に対する口頭での内容説



図3 恩田新学術各班の役割と連携

明も海老原教授ほか数名の先生方によって行われた。このときの文科省側の印象は好意的に見えたとのことである。しかし残念ながら、実際には原子力災害緊急研究の予算枠は用意されていなかったし、ハードルが高く、この提案は店晒しとなった。その後も本緊急提案に対する回答は文部科学省からは一切なかったと伺っている。若干の期間をおき、文科省から別の研究調査計画が準備され（科学技術戦略推進費：[http://www8.cao.go.jp/cstp/budget/h23kidou\\_housya.pdf](http://www8.cao.go.jp/cstp/budget/h23kidou_housya.pdf)）、結果として、多くの放射化学、地球化学研究者は核物理研究者とともに土壌調査（マッピング調査 <http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/dojo/>）へ従事していくことになる。この辺りの経緯は昨年度の「環境放射能」研究会での講演で述べられた（篠原、2012）。いずれも必要な調査であり、多くの方々の多大な努力を要したことは言を俟たないが、よりボトムアップ的な研究費獲得の再挑戦を期して有志が科研費領域計画申請書の作成に取り掛かったのは、土壌調査や科学技術戦略推進費による福島県川俣町への調査サイトの設定が進み、多少なりともひと段落した2011年秋からのことであった。「緊急研究調査」という経費は科研費であるべきか否かはともかくとして、政府が常に用意すべき経費のうちのひとつであると考ええる。

### 最後に

福島事故のような重大事故は二度とあってはならないが、原子力に係る重大な出来事・事故（何を基準に重大と定義するかで変わってしまうが）

はおおよそ5～10年に一度生じてきた（1945年広島、長崎原爆投下、1954年ビキニ事件、1957年英国ウィンズケール原子炉火災事故、1964年中国第一回大気圏内核実験、1974年原子力船「むつ」の放射線漏れ事故、1979年の米国スリーマイル島原子力発電所事故、1986年の旧ソ連チェルノブイリ原子力発電所事故（現ウクライナ）、1995年高速増殖炉もんじゅナトリウム漏洩事故、1997年核燃料再処理施設アスファルト固化施設火災爆発事故、1999年JCO臨界事故、2011年の福島第一原子力発電所事故等）ことから、学会、環境放射能研究者としての事故への備えというものを肝に銘じておく必要がある。さらに、若い世代への「教訓の伝承」も必須であろう。本稿が多少なりとも「伝承」に寄与できたのなら、真に幸いである。

また、一連の研究の立ち上げと継続に尽力された恩田裕一筑波大教授はじめ、中島映至東大気海洋研教授、北和之茨城大教授、吉田尚弘東工大教授、当学会会員の海老原充首都大教授、篠原厚阪大教授、高橋嘉夫広大教授、諸先生方、同僚のみなさまに深く感謝する。

### 参考文献

篠原厚、「福島土壌プロジェクトおよび放射化学会の取り組み」、Proceedings of the 13th Workshop on Environmental Radioactivity, Bessho, Tagami, Takamiya and Miura Eds., KEK Proceedings 2012-6, pp. 25-33, High Energy Accelerator Research Organization, 2012.

## ニュース

### さまよえるプルトニウム

Helmholtz Zentrum München  
 German Research Center for Environmental Health  
 Institute of Radiation Protection  
 Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Neuherberg, Germany

篠永妙子

#### 1. はじめに

アクチノイド元素の一つである 94 番元素は 1941 年、カリフォルニア大学バークレー放射線研究所のシーボルク (Glenn T. Seaborg) 氏らにより生成・分離・確認され、ウラン (Uranium)、ネプツニウム (Neptunium) に続く元素として、プルトニウム (Plutonium) と命名された。<sup>1</sup> ウランとネプツニウムが天王星 (Uranus) および海王星 (Neptune) からそれぞれ名づけられたことに続き、冥王星 (Pluto) がその名の由来となったものである。この時から今日に至るまで、プルトニウムはさまざまな形で人々により利用され、その問題が論じられ、今日では環境汚染、人体への影響に関する研究がその人々によって広範囲に行われているのである。

地球上に存在するプルトニウムは、天然のウラン鉱石中でわずかに自然発生するもの、ガボン共和国オクロにある天然原子炉内に存在するもの、超新星爆発から太陽系の誕生以来残っている痕跡量の  $^{244}\text{Pu}$ :  $(80000000 \pm 900000)$  年、<sup>2</sup> (半減期  $\pm$  不確かさ、以下  $T_{1/2} \pm \text{uc}$  と表す)、を除いてすべて人工的につくられたものである。ウラン鉱石中や原子炉内では、 $^{238}\text{U}$  が中性子を捕獲し  $^{239}\text{U}$ :  $T_{1/2} \pm \text{uc}$  ( $23.45 \pm 0.02$ ) 分、<sup>2</sup> となり、 $\beta^-$  崩壊して  $^{239}\text{Np}$ :  $T_{1/2} \pm \text{uc}$  ( $2.356 \pm 0.003$ ) 日、<sup>2</sup> となる。これが引き続き  $\beta^-$  崩壊して  $^{239}\text{Pu}$ :  $T_{1/2} \pm \text{uc}$  ( $24110 \pm 30$ ) 年<sup>2</sup> となる。原子炉内では実際には他にも多種のプルトニウム同位体が生成される。たとえば、 $^{240}\text{Pu}$  は  $^{239}\text{Pu}$  の中性子捕獲により生じる。プルトニウムは  $^{232}\text{Pu}$  から  $^{246}\text{Pu}$  まで主な同位体として存在するが、核燃料関連で重要な同位体元素 ( $T_{1/2} \pm \text{uc}$ : 年) は、 $^{236}\text{Pu}$ :  $2.858 \pm 0.008$ 、<sup>2</sup>  $^{238}\text{Pu}$ :  $87.7 \pm 0.1$ 、<sup>2</sup>  $^{239}\text{Pu}$ :  $24110 \pm 30$ 、

$^{240}\text{Pu}$ :  $6561 \pm 7$ 、<sup>2</sup>  $^{241}\text{Pu}$ :  $14.325 \pm 0.006$ 、<sup>2,3</sup>  $^{242}\text{Pu}$ :  $375000 \pm 2000$ <sup>2</sup> であり、これら核種のうち  $\beta^-$  崩壊する  $^{241}\text{Pu}$  以外は  $\alpha$  崩壊する。

プルトニウムが利用された最初の大きな事例の一つとして、長崎に投下された原子爆弾があげられる。これはプルトニウム発見のわずか 4 年後の 1945 年 8 月 9 日に起こった痛ましい出来事である。プルトニウム爆弾は  $^{239}\text{Pu}$  が核分裂反応する際に放出するエネルギーを利用するものであり、トリニトロトルエン (TNT) 換算して評価される爆発時のエネルギーはウラン爆弾の約 1.5 倍である。プルトニウム核兵器製造には  $^{239}\text{Pu}$  の同位体存在度が 93% 以上、 $^{240}\text{Pu}$  が 7% 以下のものが必要とされ、これらは兵器級プルトニウム (weapons-grade plutonium) とよばれる。 $^{239}\text{Pu}$  の同位体存在度が 52 - 63%、 $^{240}\text{Pu}$  が 19 - 28%、 $^{241}\text{Pu} + ^{241}\text{Am}$  が 12% 前後のものは原子炉級プルトニウム (reactor-grade plutonium) とよばれる。原子炉用燃料では、使用済み燃料を再処理したプルトニウムをウランに対して 4 - 9% 混ぜて作られる MOX 燃料もある。MOX 燃料は  $^{239}\text{Pu}$ 、 $^{240}\text{Pu}$  および  $^{241}\text{Pu} + ^{241}\text{Am}$  の同位体存在度がそれぞれ 40%、32%、18% 前後である。ただしこれらの同位体存在度設定範囲や名称にはさまざまな提案があり、厳密に定められたものではない。

核・原爆実験は 1945 年 7 月 16 日にアメリカ合衆国ニューメキシコ州アラモゴード (Alamogordo) の砂漠で初めての実験 (トリニティー実験 / Trinitytest) が実施されて以来、知られているだけでも 2300 回以上の実験が行われてきた。特に大気圏内実験ではプルトニウムを含む多くの放射性核種が環境中に放出され、また、水爆搭載航空機の落下事故 (スペインの Palomares、1966

年1月17日、グリーンランドのThule、1968年1月21日)、チェルノブイリ原子力発電所事故(1986年4月26日)などの事故にもより放射性物質汚染が起こされている。現在の環境中の $^{239}\text{Pu}+^{240}\text{Pu}$ の全降下量は、およそ $1.4 \times 10^{16}\text{Bq}$ と推定されている。平均した同位体比が明確でないため、正確に質量に換算することは難しいが、 $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ 質量比を0.20と仮定した場合、 $^{239}\text{Pu}$ は約 $3.5 \times 10^3\text{ kg}$ 、 $^{240}\text{Pu}$ は約 $0.7 \times 10^3\text{ kg}$ となり、合計およそ $4.2 \times 10^3\text{ kg}$ となる。

プルトニウム同位体の一つ $^{238}\text{Pu}$ は、1961年から宇宙探査機、人工衛星の原子力電源として使用されていたが、1964年にこの原子力電池を搭載した衛星が大気中で燃え尽き、約1kg ( $6.3 \times 10^{14}\text{Bq}$ )の $^{238}\text{Pu}$ がインド洋上およそ13.5 km地点の成層圏で飛散し、世界規模のプルトニウム汚染につながった。ちなみに $^{238}\text{Pu}$ は過去に埋め込み型心臓ペースメーカーの電源として利用されたこともある。

## 2. 核不拡散条約(NPT)と国際原子力機関(IAEA)

核兵器開発を目的とした核実験が繰り返されるなか、核兵器の不拡散に関する条約(Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons:NPT)が、国際連合にて1968年7月1日に署名開放され、70年3月5日に発効された。日本は1970年2月に署名し、1976年6月に批准している。条約の目的と内容は外務省ホームページに以下のように翻訳記載されている。<sup>4</sup>

### 核不拡散条約の目的と内容

(イ) 核不拡散:

米、露、英、仏、中の5か国を「核兵器国」と定め、「核兵器国」以外への核兵器の拡散を防止。

(ロ) 核軍縮:

各締約国による誠実に核軍縮交渉を行う義務を規定(第6条)。

(ハ) 原子力の平和的利用:

右は締約国の「奪い得ない権利」と規定するとともに(第4条1)、原子力の平和的利用の軍事技術への転用を防止するため、非核兵器国が国際原子力機関(IAEA)の保障措置を受諾する義務

を規定(第3条)。

後の1996年には、宇宙空間、大気圏内、水中、地下など、すべての地点における核実験の実施、核爆発を禁止する包括的核実験禁止条約(Comprehensive Nuclear Test Ban Treaty: CTBT)が国連総会において採択されるが、まだ発効にはいたっていない。NPTに関しては、作成当時から現在に至るまで問題点が指摘され、さまざまな論議があると読み聞きしているが、記述は省略する。ここでは、上記(ハ)原子力の平和的利用、の項に登場する国際原子力機関(IAEA)について少し述べてみたい。「原子力の平和的利用」と日本語に訳される“Atoms for Peace”は、1953年12月、当時のアメリカ合衆国大統領、アイゼンハワー(Dwight D. Eisenhower)氏が国際連合総会にて、核のあり方についての考えを述べたフレーズである。広島、長崎への原爆投下により多数の死者、負傷者が出たにもかかわらず、核実験は続行され、冷戦中における核兵器開発競争が、現実の核戦争につながることへの危機感から発せられたものであり、軍事目的での核の削減や廃絶へのよびかけである。この演説をきっかけとし、1954年、国際連合にてIAEAの憲章草案の協議が始まり、1957年の採択を経て、同年7月にIAEAは発足した。原子力の平和的利用を促進し、軍事転用されないための保障措置を実施することが主な役割である。機関の代表者は事務局長と呼ばれ、現在は天野之弥氏が2009年12月に就任して以来その役職に就いておられることは多くの読者がご存知のことと察する。IAEAは2005年、当時のIAEA事務局長エルバラダイ(ي.ع.إبراهيم، Mohamed ElBaradei)氏とともにノーベル平和賞を受賞した。「原子力が軍事目的に利用されることを防止し、平和目的のための原子力が可能な限り安全な方法で利用されることを確保するために努力を払ったこと」が受賞理由であった。筆者は2003年から2010年にかけて、IAEAに勤務した経験がある。2005年12月10日、オスロにて理事会議長を当時務めておられた天野之弥ウイーン代表部大使がIAEAを代表してエルバラダイ氏とともに臨まれたノーベル平和賞受賞式典の映像は、今でも感動とともに鮮明に記憶に残っている。このあとエルバラダイ氏の

配慮により、IAEA 職員は各自宛でのノーベル賞賞状を受け取ることになる。いただいた賞状は、筆者にとって大切な宝物である。

### 3. 核鑑識 —国際原子力機関 (IAEA) で従事した仕事—

IAEA 在職中は、ウィーンにある本部から南におよそ 35km 離れたサイバースドルフ (Seibersdorf) という村にある IAEA 研究所内の保障措置分析ラボラトリーにて、査察試料の分析、および分析法の開発を行っていた。核鑑識の一環作業である。核鑑識とは、調査を行う機関により採取された核物質の放射化学的性質、化学・物理的性質などを分析、解析することにより、その物質の製造元施設、使用目的、経歴、その他を追跡することを意味するものである。このような核物質の性質は、核の指紋 (Fingerprint of Nuclear Material) といわれることもあるが、この表現のしかたに関しては是非の議論がある。いずれにしてもこれらの作業により、未申告に行われた核活動や核テロで使用された核物質の起源を特定する試みが行われ、それらを明らかにすることにより不正な核活動や核テロの抑制につながる事が期待されている。IAEA 保障措置とは、こうした核鑑識により原子力が平和的利用から核兵器製造等の軍事目的に転用されないことを確保することを目的とするものである。IAEA 査察受け入れは NPT 締約核兵器非所有国の義務であり、これについては協定が結ばれている。<sup>5</sup> 核兵器所有国である米、英、露、中、私は IAEA 査察を受け入れる自発的協定を締約している。その他の国においては、インドでは 1974 年に初めての核実験が行われ、パキスタンは 1998 年に核兵器所有を宣言し、2006 年には北朝鮮で最初の核実験が行われている。これらの 3 国は NPT に加盟していない。こうした核軍縮に向けての条約が整えられようとする一方、核物質を用いた未申告活動などの不正の有無を明確に示すために、精密な同位体比測定や、正確な化学組成や物理的性質などの分析データが要求され、そのために高度な分析技術が必要とされている。

IAEA 保障措置における試料分析には大きく分けて二つの分野がある。申告済みの核物質を使っ

た活動が申告通りに行われているかどうかを確認するための核物質の分析と、未申告の核活動が行われていないかどうかを調べる施設内外から採取された環境試料の分析である。試料はいずれも IAEA 査察官により現場で採取され本部に届けられた後、コード番号が試料名として付けられる。試料を分析する者は、本部から受け取った試料の身元を知らされることは受け取る時も、分析結果を報告した後もない。これは査察試料の一部を分析する世界の IAEA ネットワークラボラトリー (Network Analytical Laboratory: NWAL) と呼ばれる機関においても同様である。IAEA 保障措置分析ラボラトリーと NWAL から報告された分析結果は、本部にあるデータ解析を行う部署にて総合的に解析され、その結果がさらに上部に報告され、事務局長の声明へとつながる。筆者は二つの分析分野のうち、後者の環境試料分析にたずさわっていた。主な分析対象元素は、ウラン、プルトニウム、アメリシウム (Americium) であり、ウランは pg- $\mu$ g ( $10^{-12}$  -  $10^{-6}$  g) レベルの量を、またプルトニウムとアメリシウムは fg - pg ( $10^{-15}$  -  $10^{-12}$ g) レベルの量を中心にクリーンラボラトリー<sup>6</sup> と呼ばれる実験室内にて取り組んでいた。査察試料中の各核種の定量および同位体比分析、標準試料物質中のプルトニウム量および同位体比推奨値の決定および決定方法、<sup>7</sup> ウラン、プルトニウム単一粒子の同位体比分析法、<sup>8</sup> プルトニウム単一粒子の年代測定法の開発、<sup>9</sup> さらに二酸化プルトニウム ( $\text{PuO}_2$ ) 粒子の標準物質製造、それら粒子の特徴づけ<sup>10</sup> などを行っていた。これらの分析作業は目的物質を化学分離した後、表面電離型熱イオン化質量分析法 (Thermal Ionization Mass Spectrometry: TIMS)、扇磁場型誘導結合プラズマ質量分析法 (Sector Field-Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: SF-ICPMS)、アルファ分析法 (Alpha-particle Spectrometry)、ガンマ線測定分析法 (Gamma-rays spectrometry)、エネルギー分散型 X 線分析装置および波長分散型 X 線分析装置を備えた走査型電子顕微鏡 (Scanning electron Microscope equipped with Energy Dispersive X-ray Analyzer and Wavelength Dispersive X-ray Analyzer: SEM-EDX-WDX)、エネルギー分散



型 X 線分析装置を備えたマイクロラマン分光光度法 (Micro-Raman Spectroscopy equipped with X-ray Fluorescence Analyzer: MRAMAN-EDX) などを用いて測定し行っていた。使用できる可能な限りの分析技術を駆使していた。ここでは論文としてまとめられた研究のうち、プルトニウム単一粒子年代測定法<sup>9</sup>と、二酸化プルトニウム粒子標準物質の製造とその粒子の特徴づけ<sup>10</sup>に関する研究結果について紹介させていただく。

#### 4. プルトニウム単一粒子の年代測定

核鑑識については、調査対象物質の製造元施設、使用目的、経歴、その他を追跡することを意味するものであったが、ここではそのうち「経歴」という項目に注目する。核物質内では、他の放射性物質と同様に時間経過に伴い放射性崩壊物が生成されてゆく。この現象を、物質に対して最後に行われた化学精製分離の時を調べるために利用することができる。たとえば、上記にあるようにプルトニウムは核兵器以外に、原子炉の燃料としても使用される。しかしながらこの燃料からプルトニウムを精製して核兵器に転用するという可能性もある。この可能性を見出した場合、さらに詳しく性質を調べるため、採取したプルトニウムがいつ純粋なプルトニウムに精製分離されたかを測定する方法技術がある。プルトニウムの年代測定法である。プルトニウムの精製後の年齢は原理的には5種類の親核種-娘核種の関係を利用して決定することができる。<sup>238</sup>Pu/<sup>234</sup>U、<sup>239</sup>Pu/<sup>235</sup>U、<sup>240</sup>Pu/<sup>236</sup>U、<sup>241</sup>Pu/<sup>241</sup>Am、<sup>242</sup>Pu/<sup>238</sup>Uの組み合わせである。実際には、はじめの4つの組み合わせが使われる。5番目の<sup>242</sup>Puの $T_{1/2} \pm uc$ は(375000 ± 2000)年と長いため、たとえば数年の間にはほんのわずかな<sup>238</sup>Uしか生成されないことと、それゆえ主核種が<sup>238</sup>Uであり、いたるところに存在する天然ウランが分析操作中にわずかでも汚染した場合、結果にバイアスを与えることになるためである。実際に分析過程において天然ウランの混入を完全に避けることはできない。

ここでふたたび、環境試料分析についての説明にもどる。環境試料分析にも大きく分類して二種のアプローチのしかたがある。たとえばスワイプ

によってふき取り採取された試料全体を酸溶解によって処理するバルク分析と、スワイプ試料上の個々の粒子について調べる粒子分析である。非破壊粒子同位体比測定は主に二次イオン質量分析法 (Secondary Ion Mass Spectrometry: SIMS) を用いて行われる。バルク分析ではスワイプ上のそれぞれの元素の量および同位体比平均値が求められる。一方粒子分析では個々の粒子について同位体比分析できるものの、試料に含まれるすべての粒子を調べることは実際には不可能に近いため、この両者の分析結果の組み合わせによって試料の性質の解析が行われる。ただしプルトニウム年齢の平均値は、環境試料においてはあまり意味がないことが多いため、個々の粒子についての情報が重要となる。下記に筆者らの開発した、数 $\mu\text{m}$ の単一プルトニウム粒子の<sup>241</sup>Pu - <sup>241</sup>Amの放射壊変を利用した年齢測定法<sup>9</sup>を紹介する。

<sup>241</sup>Puは $T_{1/2} \pm uc$ : (14.325 ± 0.006)年<sup>2,3</sup>で $\beta^-$ 崩壊して<sup>241</sup>Am: $T_{1/2} \pm uc$ : (432.6 ± 0.6)年<sup>2</sup>となる。この現象を利用したもので、精製分離後の年齢 $t$ は以下のように計算することができる。

$${}^{241}\text{Pu}_t = {}^{241}\text{Pu}_0 \times e^{-\lambda t} \quad (1)$$

$${}^{241}\text{Am}_t = {}^{241}\text{Pu}_0 - {}^{241}\text{Pu}_t = {}^{241}\text{Pu}_0 \times (1 - e^{-\lambda t}) \quad (2)$$

$$\frac{{}^{241}\text{Pu}_t}{{}^{241}\text{Am}_t} = \frac{e^{-\lambda t}}{1 - e^{-\lambda t}} \quad (3)$$

$$t = \frac{1}{\lambda} \ln \left[ \frac{{}^{241}\text{Am}_t}{{}^{241}\text{Pu}_t} + 1 \right] \quad (4)$$

ここで $\lambda$ は<sup>241</sup>Puの崩壊係数、<sup>241</sup>Pu<sub>t</sub>、<sup>241</sup>Pu<sub>0</sub>はタイム $t$ および0(ゼロ)における放射能強度である。タイム0における<sup>241</sup>Am量は0と仮定する。またここでは<sup>241</sup>Amが432.6年の半減期で<sup>237</sup>Npに $\alpha$ 崩壊する量は考慮されていない。この方法では実験で求める必要のあるパラメーターは、対象物質中のAm/Pu原子数比およびプルトニウム核種間の同位体存在比である。まず、グラフィット試料台にのせられた主にnm - 数 $\mu\text{m}$ 程度のプルトニウム粒子を含む試料を、SEM - 後方散乱モードにて目星をつけ(図1左、5左)、EDXで

プルトニウム粒子であるかどうかを確認する（図1右、5中）。その後、WDXにより Am/Pu の原子数比を測定する（図5右）。さらに図2にあるように SEM 装置の中に取り付けたマイクロマニピュレーターと呼ばれる nm 単位で操作が可能な装置により、モニターで確認しながら粒子をピックアップし（図3）、それを 5mm 四方のシリコンチップの上に移動する。このプルトニウム粒子をのせたシリコンチップを取り出し、そのわずか数  $\mu\text{m}$  のプルトニウム単一粒子からアメリカウムをイオン交換、イオンクロマトグラフ法などにより分離し、その後プルトニウムの同位体比を

TIMS あるいは ICPMS で測定する。言葉で説明するのは簡単だが、実際は難しく時間のかかる操作である。

この方法により、アメリカ合衆国 New Brunswick Laboratory (NBL) から配布されている認証標準試料 CRM137<sup>11</sup>（以前は NBS947/National Bureau of Standards として配布されていた）粒子状硫化プルトニウム四水加物の単一粒子の年代測を行った結果を表1に示す。分析した5つの粒子の年齢を典型的には 2 - 3% ( $k=1$ ) の合成不確かさで分析することができた。しかしながら、保証値に対して分析結果のバイアスにはプ

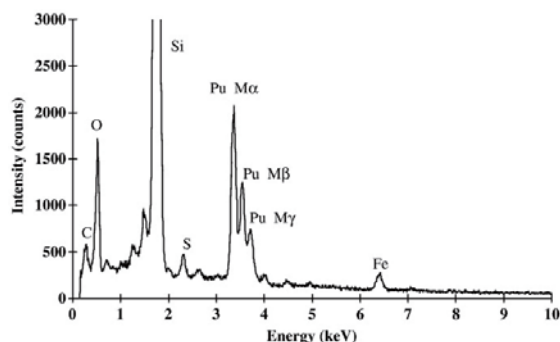
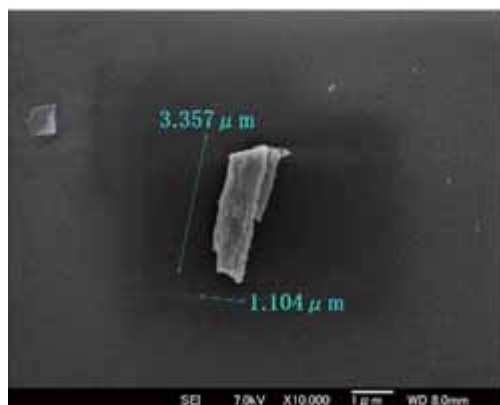


図1 CRM137 硫化プルトニウム粒子の SEM 写真と EDX スペクトル。3.34keV ( $M\alpha$ ), 3.37keV ( $M\beta$ ), 3.53keV ( $M\gamma$ ) にプルトニウムの特性 X が観察される。これらは IAEA ネットワークラボラトリーの一つである日本原子力機構 (JAEA) の CLEAR との共同研究<sup>8</sup>において得られた。

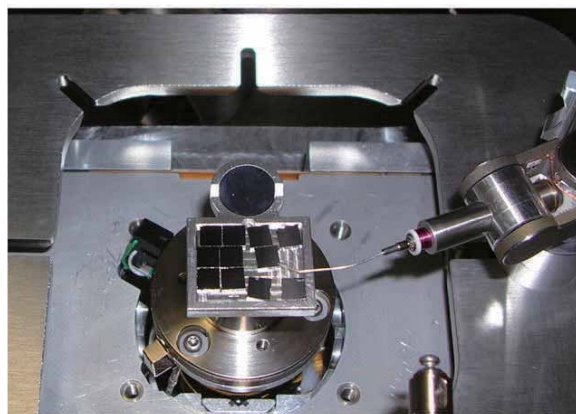


図2 SEM 試料室に取り付けられた、試料台。試料をのせたカーボン台 (円) とシリコンウエハー (四角)。

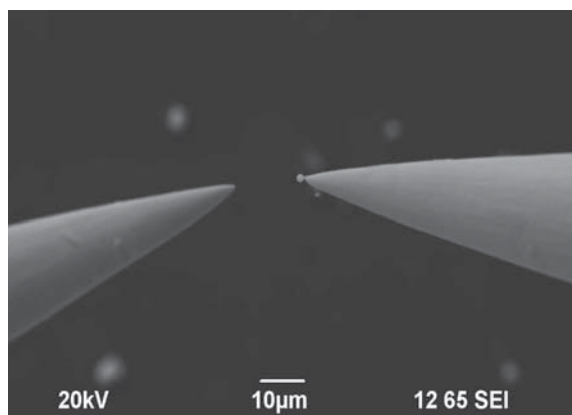


図3 直径およそ  $1\mu\text{m}$  の粒子をマイクロマニピュレーターと針でピックアップした。

表 1 CRM137 (NBS947) 粒子の年齢測定結果

Particle	Age [Year]	Combined uncertainty: Uc [%] (k=1)	Difference from certificate
			[Year]
A	38.8	2.3	+2.9
B	38.2	2.4	+2.3
C	36.2	2.9	+0.3
D	35.6	1.6	-0.3
E	37.4	8.6	+1.5
Age in certificate (referred to Nov. 2007)	35.9		

ラスの傾向がみられる。結果がプラスに傾いた理由としては主に二つ考えることができる。一つは、5粒子のうち4つについての測定結果が単純にプラス方向に傾いたことであり、平均値を求めた場合、統計上はある不確かさを伴ってプラスと示されても、20粒子について調べてみると、マイナスになる可能性もある。これはさらに分析件数を追加してみなければわからない。二つめの理由としては、粒子を製造する前にプルトニウム溶液からアメリシウムを化学分離が行われたと推定するが、その時点でアメリシウムが100%分離されておらず、 $^{241}\text{Am}$ の残渣が結果にプラスのバイアスを与えた可能性があるということである。次の項5(図8)に示すように、筆者らが実際に二酸化プルトニウムの粒子を製造する際、プルトニウム母溶液から注意深く2度アメリシウムの分離を行い、分離後の母溶液中の $^{241}\text{Am}$ をガンマ線測定により分析した結果、検出されなかったにもかかわらず、実際には検出限界以下の微量の $^{241}\text{Am}$ が存在していたことが明らかになった。これは後のある2時点においてプルトニウム粒子中の $^{241}\text{Am}$ を定量したところ、タイム0において $^{241}\text{Am} = 0$ 、と仮定した場合の計算上の $^{241}\text{Am}$ 成長量よりも多く含まれることが示された結果から判断したことである。推察するに、どのような方法を使ってもプルトニウム物質からアメリシウムを100%完全に分離することは不可能なのではないだろうか。その根拠は確率論で説明することができるだろうか。

実際の核物質試料においても、分離しきれなかった $^{241}\text{Am}$ が年齢測定結果にバイアスを与えることになる。より正確な年齢を決定するため

に、他の崩壊系の分析を併用する方法もある。これらについてさらに興味のある方は、Keegan et al.<sup>12</sup> Wallnus et. al.<sup>13</sup> および Nygren et al.<sup>14</sup> らの論文を参照していただきたい。

## 5. 二酸化プルトニウム粒子の標準試料作製と粒子の特徴づけ

このようにプルトニウム粒子の同位体測定や年齢測定を行うにあたり、その測定結果の正確さを評価するために、実試料粒子に特徴が近い保証値付きの標準物質が必要となる。しかしながら、これまで提供されたりつくられたりした粒子標準物質は、上記のように硫化物のものや、酸化プルトニウムであっても、 $^{242}\text{Pu}$ を主成分とするものなど、実際に多く存在する $^{239}\text{Pu}$ を主成分とした酸化プルトニウム粒子とは異なるものである。これまで $^{239}\text{Pu}$ を主成分とする酸化プルトニウム粒子標準物質が作られてこなかった理由の一つに、製造許可を得るのが難しいということがありと推察される。このことが理由かどうかはわからないが、標準物質を提供している機関でもなかなかつくられることがなかったため、それならば自分たちでつくろうということになり、このプロジェクトが始まった。IAEAではプルトニウム粒子製造機器、設備がないため、それらを備えているフィンランドのVTT (Technical Research Center of Finland) 研究所と共同プロジェクトで行うことになった。NBLから配布されているプルトニウムの認証標準溶液、CRM136、<sup>15</sup>からIAEAラボでアメリシウムを分離し、その溶液を蒸発乾固したものをVTTに送り、そこでプルトニウム粒子が製造された。さらにその粒子

を VTT から送り返してもらい、IAEA ラボにて粒子のさまざまな性質を測定、決定することにより特徴づけを行い、分析値の品質保証のための二酸化プルトニウム粒子標準物質を完成させた。この標準物質はあくまでも標準物質であり、認証標準物質とは区別している。

酸化プルトニウム粒子は図 4 に示す装置を用いて製造し、インパクトータとよばれる粒径別粒子捕集装置 (BLPI: Berner-type low-pressure impactor) にてアルミニウムホイル上にそれぞれ捕集した。

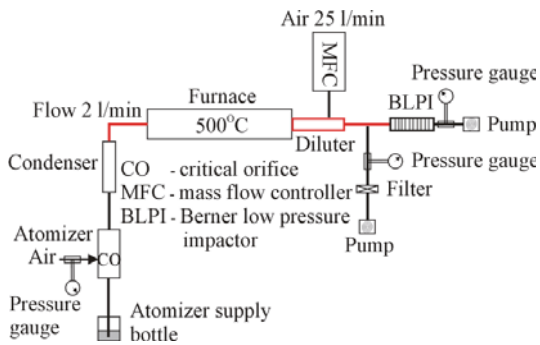


図 4 PuOx 粒子製造装置概要。  
Condenser と Furnace、Furnace と BLPI の間は 120°C に加熱された。

粒子の特徴づけは

- 1) SEM-EDX-WDX 測定による粒子の形状、粒径測定、粒子がプルトニウムであることの確認 (図5)。
- 2) インパクトータで捕集した粒子の粒度分布および粒径測定 (図6: stage 8、2番目に大きな粒径グループ)。
- 3) TIMS、ICPMS、およびアルファ分析法による粒子の同位体比測定 (図7)。
- 4) 測定結果の統計処理、保証値との比較による測定結果の正確さの評価、測定値の比較 (異なる測定方法による違い、化学分離前と後の違い) (図7)。
- 5) TIMS よび ICPMS によるウラン含有量および同位体比測定。
- 6) MRAMAN-EDX による単一プルトニウム粒子の酸化状態の測定。
- 7) 単一プルトニウム粒子の密度分析。
- 8) 粒子製造約1および2年後の粒子中の<sup>241</sup>Puの崩壊生成物<sup>241</sup>Amの確認 (図8) などにより行った。

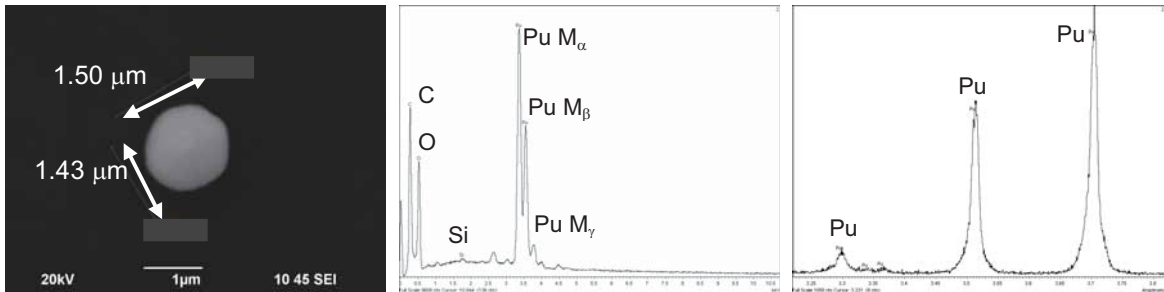


図 5 二酸化プルトニウム粒子の SEM 写真(左)、粒子の EDX スペクトル(中)、および粒子の WDX スペクトル(右)

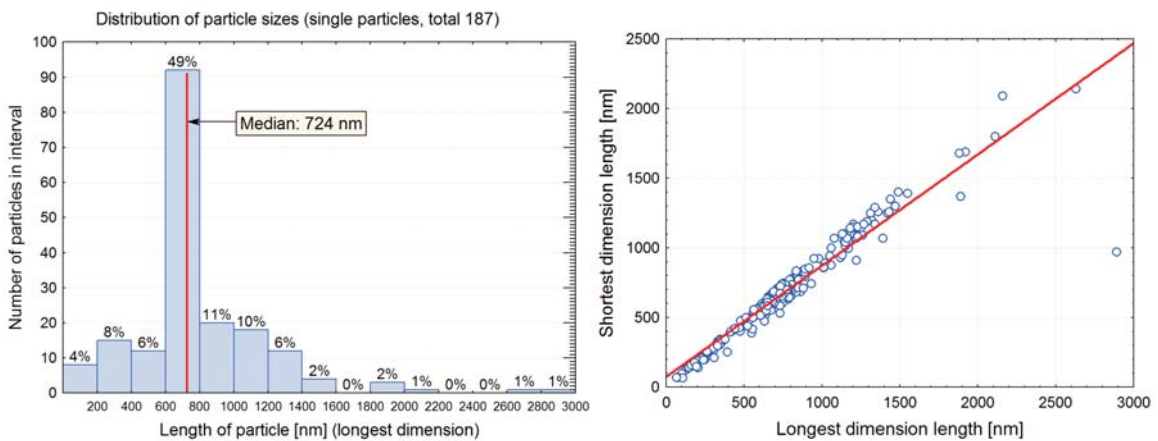


図 6 プルトニウム粒子の粒度分布 (左) と粒径 (右) 測定 (stage 8)

これらの分析、測定により、粒子はある程度かたよりはあるものの比較的均一な円形粒子であり(図5左、図6右)、プルトニウム同位体比値のバイアスは、認証値から分析値の不確かさ

の範囲内で一致することが確認された(図7)。ICPMS測定による $^{241}\text{Pu}$ 存在度には $^{241}\text{Am}$ の影響と考えられるプラスのバイアスが見られるが、アメリカシウムの化学分離後は、測定平均値がやは

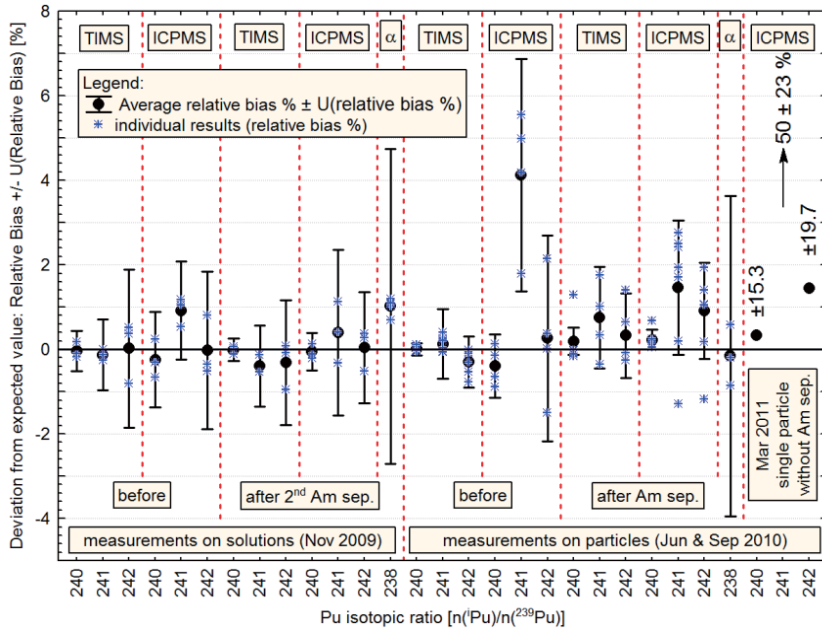


図7 プルトニウム粒子の同位体比測定結果

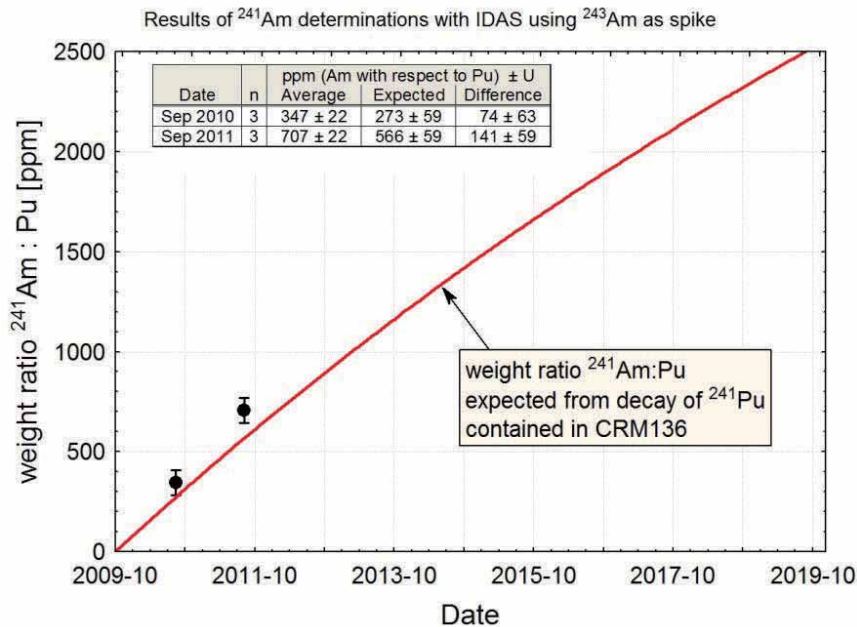


図8 プルトニウム粒子内の $^{241}\text{Pu}$ 崩壊生成物 $^{241}\text{Am}$ の生成。曲線は $t=0$ において $^{241}\text{Am} = 0$ と仮定した場合の $^{241}\text{Am}$ 生成量の計算値であり、合成不確かさを伴った点は実際の測定値を示す。

り高めにでていっているものの、不確かさ範囲内にはおさまっている。 $^{241}\text{Am}$ の影響が $^{241}\text{Pu}$ との蒸発温度差のため比較的少ないTIMSによる測定結果はアメリカシウムの分離前もバイアスが小さい。MRAMAN-EDXによる12個の単一プルトニウム粒子の酸化状態の分析では、それらが $\text{PuO}_2$ であることが示された。粒径、定量分析から調べた3つの単一粒子の密度測定結果には、大きなばらつきが見られ、追加実験が必要である。前項でも述べたように、アメリカシウムはプルトニウム母溶液から完全に分離されていなかったことが後の $^{241}\text{Am}$ 定量分析により確認された(図8)。しかしながらこれらすべての性質を踏まえて、この標準物質が今後のプルトニウム粒子の実試料分析において役立つことを願っている。

## 6. さまよえるプルトニウム

この原稿の題名「さまよえるプルトニウム」は歌劇「さまよえるオランダ人(原題: Der fliegende Holländer)」を模したものである。当研究所にて原稿提出の申請をした際のドイツ語版題名は「Das fliegende Plutonium」である。プルトニウムが発見された1941年のほぼ100年前、1842年にドイツの作曲家、指揮者、そして2013年5月に生誕200年を迎えるワーグナー(Wilhelm Richard Wagner)は歌劇「さまよえるオランダ人」を完成させた。ドイツの詩人ハイネ(Christian J. Heinrich Heine)の著作と中世の幽霊船伝説に着想を得て、歌劇に再編成したものである。筋書きは、- 幽霊船のオランダ人船長は、神罰により呪いから逃れることも死ぬこともできない。この呪いは乙女の愛を受けることによるのみ解かれるが、そうでなければ7年に一度の上陸が許される以外、永遠に海をさまよひ続けなければならない。ノルウェーでオランダ人船長に出会ったダラント(Daland)は財宝を渡され、船長に自身の娘センタ(Senta)を引き合わせる。センタはオランダ人船長の不幸を悲しみ、救うことを決意するが、彼女はエリック(Erik)という青年に愛されていた。ふたたびオランダ人船長に会おうとするセンタをエリックが引きとめる場面に会ったオランダ人船長は、センタの行く末を思い、失意のまま帆をはり去ってゆこうとする。

それに気づいたセンタはオランダ人船長への愛を叫びながら、その真愛の証として海に身を投げる。この愛を受けたオランダ人船長は幽霊船の呪いから解かれ、ついに死ぬのである。センタと共に。- 特にこの筋書きと関連があるわけではないのだが、プルトニウムのことを考える時、ふとこの歌劇を思い出すことがよくあった。ごく微量のプルトニウムを除けば、地球上のこの放射性元素はすべて人工的につくられたものである。平和的、建設的な利用法があっても、いったん事故が起こればそれは確実に環境汚染をおこし、人体への悪影響につながる可能性が生じる。そしてその問題を明確にしようと、解決しようと、人々によって研究が行われる。人工プルトニウムがこの世に誕生してから、彼らは利用され、厄介者として処理され、どこかに出沒すれば悪者として追跡されてきた。彼らは幽霊船のオランダ人船長のように、地球上をさまよっている。ただし、オランダ人船長には天昇する可能性が与えられていたが、プルトニウムにそれはない。彼らは姿を変えながら永遠にさまよってゆく。

## 7. おわりに

2012年暮、大西洋に浮かぶとある島。ここで、この原稿を書いている。目の前には、輝く太陽、そして青い海と空が果てしなく広がっている。環境汚染問題とは無縁に思える美しい光景である。新しい年、2013年が世界中の人々にとって、少しでもよりよい年になりますように。

筆者は現在まで仕事をしながらドイツ、オーストリアにて16年の歳月を過ごしている。どこにでもあるように、楽しいこともあれば、そうでないこともある日々生活である。これまで日本の雑誌に何かを書かせていただく機会はなかったが、今回このように貴誌に寄稿させていただいたことを大変にうれしく、そしてありがたく受け止めている。この機会を与えてくださった方々、そしてこれを読んでくださった方々に心より御礼申し上げます。

## 参考文献

- (1) Seaborg G.T., McMillan E.M., Kennedy J. W., Wahl A.C. Radioactive Element 94 from Deuterons on Uranium. *Physical Review* 69, No. 7&8, 366-367 (1946).
- (2) <http://www.nndc.bnl.gov/nudat2>
- (3) Wellum R., Verbruggen A., Kassel R.. A new evaluation of the half-life of  $^{241}\text{Pu}$ . *J. Anal. At. Spectrom.* 24, 801-807 (2009).
- (4) 外務省ホームページ、核兵器不拡散条約 (NPT) の概要. 平成 22 年 6 月
- (5) 外務省ホームページ、IAEA 保障措置 (1). 平成 22 年 4 月
- (6) ISO 14644-1 (1999) . Cleanrooms and associated controlled environments – Part 1: Classification of air cleanliness.
- (7) Shinonaga T., Aigner H., Klose D., Spindler P., Froeschl H., Donohue D.. Recommended value of  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$  and  $^{239+240}\text{Pu}$  concentration in reference material IAEA-315 (marine sediment) estimated by thermal ionization mass spectrometry, inductively coupled plasma mass spectrometry and alpha spectrometry. *Geostandard and Geoanalytical Research* 32, 93-101 (2008).
- (8) Shinonaga T., Esaka F., Magara M., Klose D., Donohue D. Isotopic analysis of single uranium and plutonium particles by chemical treatment and mass spectrometry. *Spectrochim Acta Part B* 63, 1324-1328 (2008).
- (9) Shinonaga T., Donohue D., Ciurapinski A., Klose D. Age determination of single plutonium particles after chemical separation. *Spectrochim Acta Part B* 64, 95-98 (2009).
- (10) Shinonaga T., Donohue D., Aigner H., Bürger S., Klose D., Kärkelä T., Zilliacus R., Auvinen, A. Marie O., Pointurier F. Production and Characterization of Plutonium Dioxide Particles as Quality Control Material for Safeguards Purposes. *Analytical Chemistry* 84, 2638-2646 (2012).
- (11) New Brunswick Laboratory Certified Reference Material CRM 137. Illinois, October 1, 1987.
- (12) Keegan R.P., Gehrke R.J. A method to determine the time since last purification of weapons grade plutonium. *J. Appl. Radi. Isot.* 59, 137-143 (2003).
- (13) Wallenius M., Tomborini G., Koch L. The “age” of plutonium particles. *Radiochim. Acta*, 89, 55 (2001).
- (14) Nygren U., Ramebäck H., Nilsson C. Age determination of plutonium using inductively coupled plasma mass spectrometry. *J. Radioanal Nucl. Chem.*, 272, 45-51 (2007).
- (15) New Brunswick Laboratory Certified Reference Material CRM 136. Argonne, Illinois, October 1<sup>st</sup>, 1987.

## ニュース

### 松竹梅の放射線を見る～イメージングプレートを使った解析～

箕輪はるか（東京慈恵会医科大学・アイソトープ実験研究施設）

『放射線が見えたらいいのに...』原子力発電所の事故後、放射線による健康被害を心配する方々の中にそのように言われる方がいた。目に見えず熱くも痛くもないものに徐々に健康を蝕まれていく気がすることに、不気味な恐怖を感じるのだろう。しかし放射線は、「なんだかわからない恐ろしいもの」ではなく、興味深い自然現象であり、適切な測定器さえあれば非常に感度良く測ることができるものである。放射線がどこにどのようにあるのかわかれば、その正体がだんだんと見えてくるのではないだろうか。数値や単位に抵抗を感じる人でも受け入れやすい、放射線を視覚的に捉えることのできる手段のひとつがイメージングプレート（IP: Imaging Plate）である。<sup>1</sup>

イメージングプレートに試料をしばらく密着させておくと入射した放射線のエネルギーが保持され、その後、プレートにレーザーを照射すると蛍光が放出される。この蛍光を測定して、蓄積された放射線量に対応した2次元画像を得ることができる。プレートには輝尽性蛍光体（BaFBr:Eu<sup>2+</sup>）の微結晶が塗布されている。蛍光体に放射線が照射されると、Eu<sup>2+</sup> イオンの電子が励起され、準安定状態のEu<sup>3+</sup> イオンとなる。励起された電子は結晶中の空格子点に留まる。次にこれをレーザー光（650nm）で2次元走査すると、Eu<sup>3+</sup> イオンがこの電子を再び捕獲し、Eu<sup>2+</sup> イオンの励起状態を経てEu<sup>2+</sup> イオンの基底状態に戻り、この際に蛍光が放出される。この現象は光輝尽発光（photo-simulated luminescence）と呼ばれている。放射線によって励起された蛍光体は可視光により基底状態に戻るため、光を当ててデータを消去でき、プレートは繰り返し使用できる。イメージングプレートでは、瞬時に強力な放射線が入射しても数え落としはほとんど起こらない。また5桁にわたる広いダイナミックレンジを持つ。<sup>2</sup> これらの利点を活かしてX線回

折散乱実験の検出などに用いられている。<sup>3</sup> イメージングプレートはX線フィルムよりも高感度であるため、生体へ照射する際に照射量が低減できる利点があり、医用画像用に利用されてきている。<sup>4</sup> しかし、環境試料の測定には補助的な役割で使われているのみである。核種の同定ができないこと、試料の形状が一定でない場合に定量性が乏しいためであろう。イメージングプレートの感度は高く、曝写条件を工夫すれば0.1mgのカリウム中の<sup>40</sup>K（3mBq）でも検出可能である。環境試料中の放射性物質の存在場所を確認するために、イメージングプレートはもっと活用されて良いと思う。

2011年3月、福島第一原子力発電所の事故により環境中に放射性物質が放出された。放射性物質を含んだプルームは風に乗って、海上へと運ばれたものは地球を回り、北西の方角へ飛散したものは降雨降雪とともに陸地に沈着し、南下したプルームは200km以上離れた首都圏にも到達したことが観測された。<sup>5</sup> これらの放射性物質はどのような形態・化学形で飛来し沈着したのだろうか。

図3は松葉のイメージングプレート画像である。試料をイメージングプレートに接触させて一晩から一週間程静置し、イメージアナライザTyphoon7000（GE Healthcare Japan Corp.）（図1）を用いて放射線画像を読み取った。画像中に点々と黒く見えるのが放射線量の高い粒子状の物質、いわゆる“ホットパーティクル”である。放射性物質降下量の多かった地点の試料ではこのような粒子が多く観察された。松葉試料は放射性物質の沈着後、何度も雨に濡れているが、図3-aの試料では放射性粒子が葉の表面に多く沈着し、風雨にさらされても沈着した場所からほとんど動いていないようにみえる。図3-bは降下量より少なかった地点で採取された試料であり、全



体の沈着量は少ないが、針状の葉よりも枝の基部に放射性物質が集積している様子が見て取れた。図3-aの試料とは異なり、放射性物質が雨により葉から枝の表面に移動し、松の枝の凹凸のある表面に捉えられたと考えられる。これらの様子から図3-aにおいては乾性沈着が支配的で、図3-bでは湿性沈着が支配的だったのではないかと推察できる。福島第一原発近傍では事故初期に飛来したプルームからの沈着が多く、関東地方では3月中旬の降雨による沈着が多かったという状況<sup>5</sup>と合致する。また、それぞれの場所において放射性降下物が飛来沈着した日時が異なる<sup>5</sup>ことから、原子炉より放出された際の化学形および放射性物質の保持体となった大気浮遊塵が異なる組成を持っていた可能性もある。

針葉樹であるマツは、事故のあった3月上旬の時点で葉をつけていた。放射性物質の降下は3月下旬頃まで続いたが、その後、降水量は低下した。<sup>6</sup>放射性降下物が少なくなってから葉を出した植物はどのような様子を示すのであろうか。図4は梅の枝のイメージングプレート画像である。この試料は事故の翌年に採取したもので、ウメは落葉樹であるため、これらの葉は放射性降下物の直接沈着をほとんど受けていないはずである。松葉と異なり、葉に粒子状の放射性物質がほとんどみられず、枝に部分的に付着している様子がみられた。図4-aは上部の図4-bは下部の枝である。図4-aにおいて上部の枝の先には事故の翌年に生えた新しい枝があるが、これらの放射性物質は少ない。このウメの樹の場合、事故直後における外部から幹や枝への直接沈着が支配的だったと考えられる。

放射性物質による植物の汚染は、事故初期の頃は表面への付着が主であったが、やがて植物体の内部にも取り込まれた。放射性セシウム沈着量が比較的高濃度だった場所で事故3ヶ月後に採取されたタケノコのイメージングプレート画像を図5に示す。縦断面の画像では、放射性物質濃度が底部から連続的に増加し、タケノコの生長点付近に濃集していることがわかる。横断面の画像から、この濃集部位はタケノコの中心付近であり、放射性物質が外部からの付着ではなく、植物体の内部に取り込まれたものであるこ

とがわかる。このタケノコの放射性セシウムを、オートウェルガンマシステム ARC-380CL (Aloka, Co. Ltd., Tokyo Japan) により測定したところ、底部で<sup>134</sup>Cs 1900Bq/kg, <sup>137</sup>Cs 2000Bq/kg、先端部では<sup>134</sup>Cs 3300Bq/kg, <sup>137</sup>Cs 3400 Bq/kg、平均<sup>134</sup>Cs 2400Bq/kg, <sup>137</sup>Cs 2600Bq/kg、このタケノコ1本400g(湿潤重量)あたり<sup>134</sup>Cs 1000Bq, <sup>137</sup>Cs 1100Bq含まれていた(濃度は湿潤重量を用いて算出し、試料採取時の2011年6月4日時点に換算した)。

タケノコは伸長速度が非常に速く1日に1mも伸び、伸長するには多くの水分を必要とする。内村<sup>7</sup>によれば、モウソウチクのタケノコ1本が伸長するのに必要な水分量はおおよそ20Lと言われている。雨水や大気浮遊塵中と共に地面に降下した放射性セシウムの多くは、土壌中の粘土鉱物に固定される。<sup>9</sup>タケの根は地面の浅い部分に広範囲に広がるため、放射性セシウムが土壌と結合する前に取り込まれたことが考えられる。セシウムはカリウムと類似した機構で植物に吸収されると考えられる。生長中のタケは多くの場合、イオン欠乏状態にあり、土壌中に新たな成分が流入すれば多く吸収するであろう。今回の事故後の観測により、多くの樹木ではセシウムが根からだけでなく、葉や樹皮からも吸収されたことが報告されている。<sup>8</sup>事故当時、タケは葉を広げていたため、セシウムを根からだけでなく葉からも吸収し、地下茎を経由してタケノコへと転流させたことも考えられる。

図5のタケノコ試料を採取したのと同じ竹林で、翌2012年5月に採取した一年目の竹の先端の枝葉のイメージングプレート画像を図6に示す。図5のタケノコが成長した翌年の様子を示していると思われる。枝葉ともに放射性物質がみられ、特に先端の葉の放射性物質濃度が高いことがわかる。植物は伸長にカリウムを利用し、より上方の若い枝葉の濃度が高くなることが報告されている。<sup>10</sup>セシウムはタケの内部でカリウムと似た挙動を示し、茎や葉から移動して生長点に濃集されている。また、葉の上には粒子状の放射性物質もみられた。この粒子は地面からの土壌粒子の舞い上がりによって付着したと考えられる。

震災以降、講演会や座談会で多くの方々に原発

事故由来の放射性物質を捕えたイメージングプレート画像を見ていただいた。筈の先端の最も美味しい部分にセシウムが集積する様子を見て、放射性物質にまるで意思があるようで恐ろしいと言う人もいた。放射性物質が粒状に存在することを知り、子供が土を触っても洗えば大丈夫といわれたことがようやく本当に納得できたとおっしゃる方もいた。受け取り方は人それぞれだが、ただ恐れるだけでなく放射線の正体を知ること、次へ踏み出す第一歩となることを願う。

測定にあたって、住民の方々から、試料の提供や採取に快く応じてくださるなど様々なご協力をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

#### 参考文献

- (1) Amemiya, Y. & Miyahara, J. "Imaging plate illuminates many fields" *Nature* 336, 89-90, 1988
- (2) "イメージングプレート：輝尽性蛍光体を用いた2次元放射線検出器" 日本物理学会誌 Vol.45, No.6, 398-404, 1990
- (3) 神谷信夫、雨宮慶幸、宮原諄二 "イメージングプレートについて—新しい二次元X線検出器—" 日本結晶学会誌 28, 350-356, 1986
- (4) Cesar, L. J., et. al "Artefacts found in computed radiography" *The British Journal of Radiology*, 74, 195-202, 2001
- (5) Yasunari, T.J., et. al. "Cesium-137 deposition and contamination of Japanese soils due to the Fukushima nuclear accident" *PINAS*, 108 (49) 19530-19534, 2011
- (6) 文部科学省 定時降下物のモニタリング <http://radioactivity.mext.go.jp/ja/list/195/list-1.html>
- (7) 内村悦三 "竹への招待—その不思議な生態—" 研成社 1994
- (8) 佐藤守 "福島果樹、この一年—原発事故初年の放射能汚染対策から" 放射化学ニュース第26号 21-31, 2012
- (9) 山口紀子ら "土壌—植物系における放射性セシウムの挙動とその変動要因" 農業環境技術研究所報告 第31号 75-128, 2012
- (10) Cassidy, N. G. "The distribution of potassium in plants" *Plant and Soil*, 32, 263-267, 1970

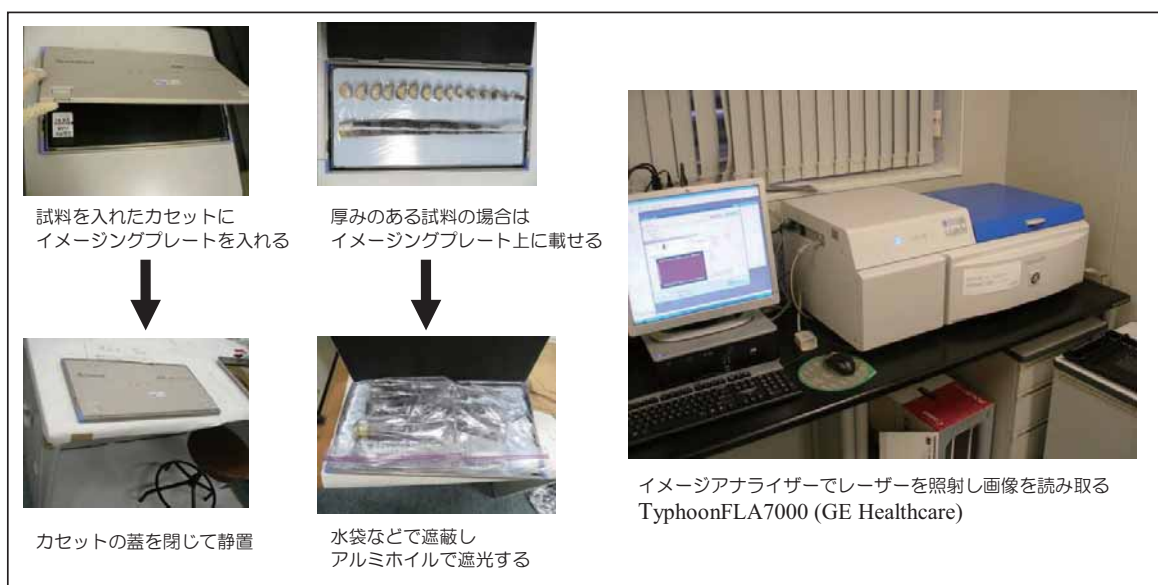
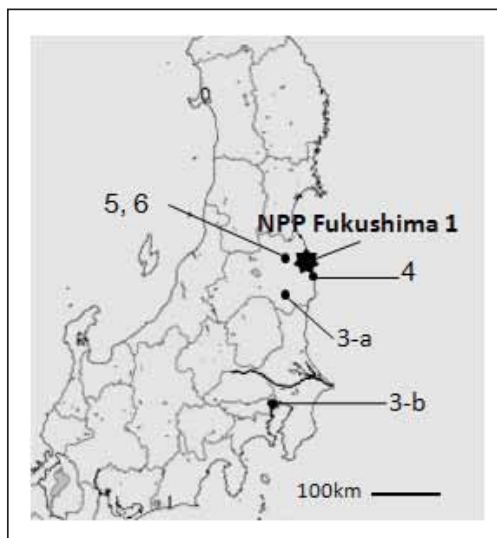


図1 イメージングプレートによる放射線画像取得の手順



- 3-a: 福島県石川郡古殿町 3-b: 東京都港区  
4: 福島県双葉郡広野町 5, 6: 福島県伊達郡川俣町

図2 試料採取場所



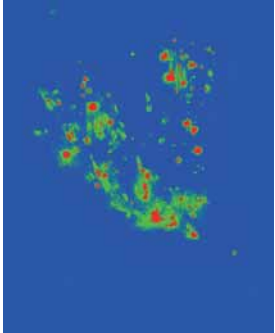

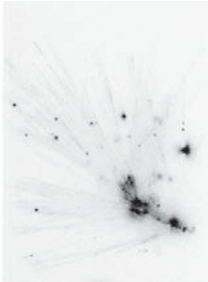
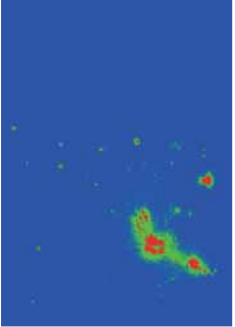

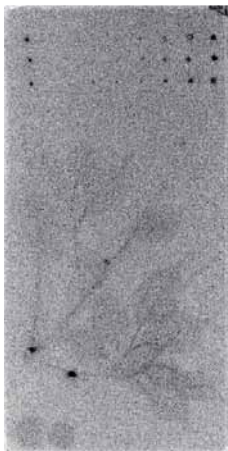
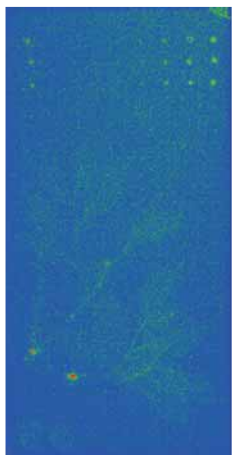


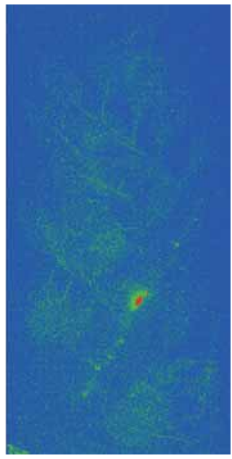
	試料写真	放射線画像	放射線画像 (着色)
<p>図 3-a</p> <p>松 <i>Pinus thunbergii</i> マツ科マツ属クロマツ 【採取場所】 福島県石川郡古殿町 【採取日】 2011/6/9</p> <p>【曝写時刻】 2011/6/24, 19:00 - 2011/6/27, 15:45 【曝写時間】 68.8h 【曝写条件】 遮蔽無し</p>			
<p>図 3-b</p> <p>松 <i>Pinus thunbergii</i> マツ科マツ属クロマツ 【採取場所】 東京都港区 【採取日】 2011/5/17</p> <p>【曝写時刻】 2011/5/17, 17:30 - 2011/5/24, 11:20 【曝写時間】 165.3h 【曝写条件】 遮蔽無し</p>			

図 3 松のイメージングプレート画像

	試料写真	放射線画像	放射線画像 (着色)
<p>図 4-a</p> <p>梅 <i>Prunus mume</i> バラ科サクラ属ウメ (枝の上部)</p> <p>【採取場所】 福島県双葉郡広野町</p> <p>【採取日】 2012/6/2</p> <p>【曝写時刻】 2012/06/11, 21:05 - 2012/06/26, 17:05</p> <p>【曝写時間】 356.0h</p> <p>【曝写条件】 遮蔽無し カリウム標準試料 KCl<sup>※</sup></p>			
<p>図 4-b</p> <p>梅 <i>Prunus mume</i> バラ科サクラ属ウメ (枝の下部)</p> <p>【採取場所】 福島県双葉郡広野町</p> <p>【採取日】 2012/6/2</p> <p>【曝写時刻】 2012/12/26, 20:00 - 2013/1/10, 13:50</p> <p>【曝写時間】 353.8h</p> <p>【曝写条件】 遮蔽無し</p>			

※カリウム標準試料 KCl : 左より 1.5, 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 mgK

図 4 梅のイメージングプレート画像



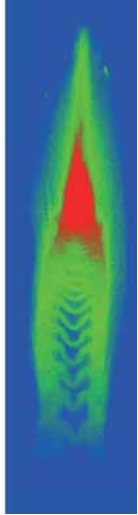


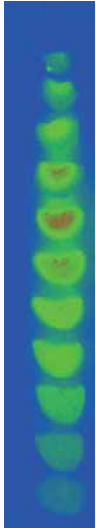
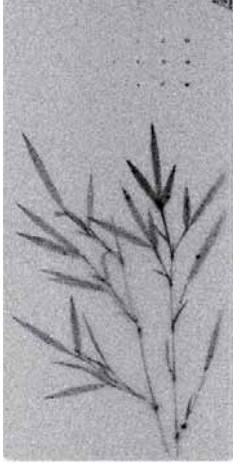
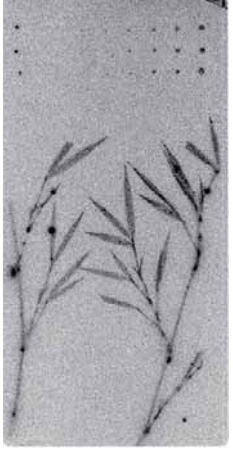
	試料写真	放射線画像	放射線画像 (着色)
<p>図 5-a</p> <p>筍 <i>Phyllostachys edulis</i> イネ科メダケ属モウソウチク (縦断面)</p> <p>【採取場所】 福島県伊達郡川俣町 空間線量 1m: 4.1<math>\mu</math>Sv/h 【採取日】 2011/6/4</p> <p>【曝写時刻】 2011/6/7,19:40 - 2011/6/16,14:15 【曝写時間】 210.5h 【曝写条件】 遮蔽無し、4<math>^{\circ}</math>C冷凍庫</p>			
<p>図 5-b</p> <p>筍 <i>Phyllostachys edulis</i> イネ科メダケ属モウソウチク (横断面)</p> <p>【採取場所】 福島県伊達郡川俣町 空間線量 1m: 4.1<math>\mu</math>Sv/h 【採取日】 2011/6/4</p> <p>【曝写時刻】 2011/6/7,19:40 - 2011/6/16,14:15 【曝写時間】 210.5h 【曝写条件】 遮蔽無し、4<math>^{\circ}</math>C冷凍庫</p>			

図5 筍のイメージングプレート画像

	試料写真	放射線画像	放射線画像(着色)
<p>図 6-a</p> <p>竹 <i>Phyllostachys edulis</i> イネ科メダケ属モウソウチク (前年に生えた竹の枝、先端)</p> <p>【採取場所】 福島県伊達郡川俣町 空間線量 1m: 2.9<math>\mu</math>Sv/h 【採取日】 2012/5/22</p> <p>【曝写時刻】 2012/5/29,19:55 - 2012/6/11,16:15 【曝写時間】 308.3h 【曝写条件】 遮蔽無し カリウム標準試料 KCl<sup>※1</sup></p>			
<p>図 6-b</p> <p>竹 <i>Phyllostachys edulis</i> イネ科メダケ属モウソウチク (前年に生えた竹の枝、下部)</p> <p>【採取場所】 福島県伊達郡川俣町 空間線量 1m: 2.9<math>\mu</math>Sv/h 【採取日】 2012/5/22</p> <p>【曝写時刻】 2012/5/29,19:55 - 2012/6/11,16:15 【曝写時間】 308.3h 【曝写条件】 遮蔽無し カリウム標準試料 KCl<sup>※2</sup></p>			

※1. カリウム標準試料 KCl : 左より 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 mgK

※2. カリウム標準試料 KCl : 左より 1.5, 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8 mgK

図6 竹のイメージングプレート画像

## ニュース

### 函館高専物質工学科における放射線等に関する学生アンケート調査

鹿野弘二 (函館高専物質工学科)

#### 1. はじめに

高等教育機関の一つである国立高専は全国51校を一法人とする独立法人であり、その学生の年齢層は本科1学年から5学年までの15～20歳、専攻科1学年から2学年までの20～22歳という幅広さから、大学や高等学校とは本質的に異なる教育機関である。

函館高専は本科5学科、専攻科2専攻からなり、学生数は本科約1000人と専攻科約50人からなる。

また、函館高専は建設中の大間原子力発電所から津軽海峡を隔てて約30kmの距離にあり、函館市や周辺自治体は建設中止を求めている。一方、函館高専では原子力人材育成プログラムに参加し、専攻科生を中心に泊原子力発電所の見学が実施されたり、<sup>1</sup> 福島高専を中心に実施されている事業に連携し、<sup>2</sup> 物質工学科の2学年を対象にポケット線量計を身につけ、1週間の線量測定が実施された。しかしながら、これまで本校の学生の放射線等に対する意識調査は行われておらず、また、東日本大震災での福島第一原子力発電所の事故以来放射線に関する社会的関心が高まっていることから、震災後の学生の意識を調査することは意義があると思われる。また、本誌編集長の大槻先生からの依頼もあり、手始めとして物質工学科本科生に対してアンケート調査を実施した結果を報告する。

#### 2. 調査方法

昨年12月の冬季休業前に実施した。各クラス担任に依頼し、実施当日出席した学生のみを対象とした。なお、2学年には講義の合間に著者が実施した。

図1に使用したアンケート用紙を示す。学年、男女別にも集計できるようにした。問1では放射線への関心を、問2ではその言葉に対する一般的

に持たれるイメージを調査した。問3ではシラバスに掲載されている用語を取り上げた。主として3学年以上の教科に掲載されている。問4はその用語を知るきっかけを調査した。問5は最近富みに耳にするシーベルトやベクレルと言った単位について、問6ではその違いの理解度を調査した。問7では人体や環境に対する放射線の影響についてどの程度理解しているのかを、問8は放射線利用についての理解度を調査した。

集計は学科全体(205名)、学年別(1学年39名、2学年41名、3学年45名、4学年45名、5学年35名)、男女別(男子131名、女子72名)に行い、比較検討した。

#### 3. 調査結果

##### 3.1 学科全体

問1から問8までの集計結果を図2の円グラフに示す。図に示したように、問1の放射線に関心がある(①大いにある+②ややある)学生は全体の76%であった。③全くない学生は6%程度であった。

問2の放射線と言った言葉に対して怖いイメージがある(①そう思う+②ややそう思う)学生は61%であり、③そう思わない学生は約6%であった。

問3の用語では知っている(①よく知っている+②少し知っている)学生は、放射線:約84%、放射能:83%、放射性物質:82%、X線:73%、アルファ線:52%、ベータ線:53%、ガンマ線:51%、放射性半減期:62%、原子力エネルギー:約73%、核分裂:約72%、原子力発電:88%であった。いずれも、半分以上の学生が少なからず知っていると答えた。また、アルファ線、ベータ線、ガンマ線は他の用語に比べ知らない学生が多いことがわかる。

問4の問3の用語の内、①よく知っているに○



を付けた用語をどのようにして知りましたかでは、①に○を付けた学生の割合はいずれの用語も10%～30%であった。また、この間に対しては複数回答可能であり全回答数は319であった。①の高専の授業と②TVと新聞の報道が39%と31%でこの2項目で7割をしめた。③のその他としてインターネットと答えた学生もいた。

問5のシーベルトやベクレルと言った単位を聞いたことがある学生は約98%であり、学年によらずほとんどの全て学生が聞いていることがわかった。

問6の単位の違いについて①わかる学生は25%、②曖昧ながらわかる学生は46%、③わからない学生は26%であった。無回答も3%あった。

問7の放射線等の人体や環境への影響について①知っている学生は18%、②知っているが詳しくはわからない学生は80%であり、内容までの理解に至っていない学生が多いことがわかる。

問8の身近な放射線利用についてその内容まで①知っている学生は約18%、②知っているが詳しくはわからない学生は76%であり、問7と同様の結果となった。

問9の知っている例として、レントゲン、X線検査(XRD、XRF)、癌治療、医療、温泉、年代測定、発芽防止、食物照射、年代測定、火災報知器、泊原発、大間原発などがあげられた。

また、意見感想では、「もっと知りたい」、「興味深い」、「原発不要」があった。

### 3.2 学年別

問1から問8までの集計結果を図3の棒グラフに示す。全体の傾向として学年が進行するにしたがって、関心の度合いや認識の度合いが増加することがわかる。特に問3のアルファ線、ベータ線、ガンマ線や問7と問8でこの傾向が明確なことがわかる。

一方で、問2の放射線と言った言葉に対して怖いイメージがあるかに対して④そう思わない5学年の学生が約23%と突出しているところがやや気になる結果となった。すなわち、学年の進行で理解が進んだ結果として④そう思わないを選択した割には、問3の用語の中でアルファ線、ベータ線、ガンマ線に対して④知らない学生も10%

前後おり、辻褄が合わない。母集団が35名と少ない中で調査なので今後の課題である。

問9の知っている例としていずれの学年でもレントゲンがあげられていた。

当学科では2学年の分析化学でX線回折、蛍光X線分析が、3学年の物理化学Iで化学と原子核が、材料工学入門で放射性物質とその影響が、4学年の無機工業化学で電池の一種として原子力電池が、機器分析でX線回折の実習が、5学年のエネルギー工学で核エネルギーが講義に取り上げられていることから上述した学年進行とともに理解度が増加する傾向は推察できる。

### 3.3 男女別

問1から問8までの集計結果を図4の棒グラフに示す。学生総数205名に対して男女合計が203名なのは2名が性別の記載をしなかったためである。

いずれの間も性別による大きな違いがないことがわかった。

## 4. まとめ

今回初めての試みとして放射線に関する学生の意識調査を実施した。良い意味でも悪い意味でも放射線等に対して関心の高い学生が多いことがわかった。学年別では学年の進行にしたがって用語などの知識度合いが向上することがわかった。また、これら用語を知った方法として高専の授業やTV、新聞などの報道が関連していることが明らかとなった。また、男女別による大きな違いはなく、このことは工業系の教育機関の学生としての特徴なのかも知れない。震災前の調査結果がないので学生の知識や意識に震災による影響があったか不明であるが、問4の用語を知る方法としてTVや新聞の報道を39%の学生があげていることから少なからず影響されていると思われる。

今回は全国51校ある中の一高専のしかも物質工学科と言う一部の学生に対して実施した結果であるが、興味ある結果が得られたと自負している。今後も調査範囲を広げる等して系統的に継続した調査を進めたい。

## 謝辞

本アンケートを実施するにあたり、函館高専物質工学科の1学年から5学年までの担任の下郡先生、寿先生、宇月原先生、清野先生および学生の皆さんに感謝します。また、アンケート作成するに当たりご助言をいただいた松永先生にお礼申し上げます。

## 参考文献

- (1) H20-H21 年度 経済産業省「原子力人材育成プログラム」「チャレンジ原子力体感プログラム」
- (2) H23-H25 年度 文部科学省原子力人材育成事業「機関連携による防災・安全教育を重視した実践的原子力基礎技術者育成の実施」の「国立高等専門学校における防災・安全教育を重視した原子力教育の現状」

放射線等に関するアンケート		学年：1C・2C・3C・4C・5C			性別：男・女	
問1. 放射線等に関心がありますか。 ①大いにある ②ややある ③あまりない ④全くない						
問2. 放射線と言った言葉に対して怖いイメージがありますか。 ①そう思う ②ややそう思う ③あまりそう思わない ④そう思わない						
問3. 以下の放射線等で用いられる言葉についてあてはまる部分に○を付けて下さい。						
用語	①よく知っている	②少し知っている	③聞いたことがある	④知らない		
放射線						
放射能						
放射性物質						
X線						
アルファ線						
ベータ線						
ガンマ線						
放射性半減期						
原子力エネルギー						
核分裂						
原子力発電						
問4. 問3の用語の内、①に○を付けた用語をどのようにして知りましたか。以下の該当するものに○を付けて下さい。(複数回答可) ①高専の授業 ②TVや新聞の報道 ③先生や親 ④本 ⑤その他 ( )						
問5. 放射線等に使用されるシーベルトやベクレルと言った単位を聞いたことがありますか。 ①ある ②ない						
問6. 問5で①に○を付けた方でその違いがわかりますか。 ①わかる ②曖昧ながらわかる ③わからない						
問7. 放射線等の人体や環境への影響についてその内容まで知っていますか。 ①知っている ②知っているが詳しくはわからないがある ③見たり聞いたりしたことはない						
問8. 身近な放射線利用についてその内容まで知っていますか。 ①知っている ②知っているが詳しくはわからないがある ③見たり聞いたりしたことはない						
問9. 問8で知っている例があれば記入してください。( )						
ご意見・感想があれば記入してください。						

図1 アンケート用紙

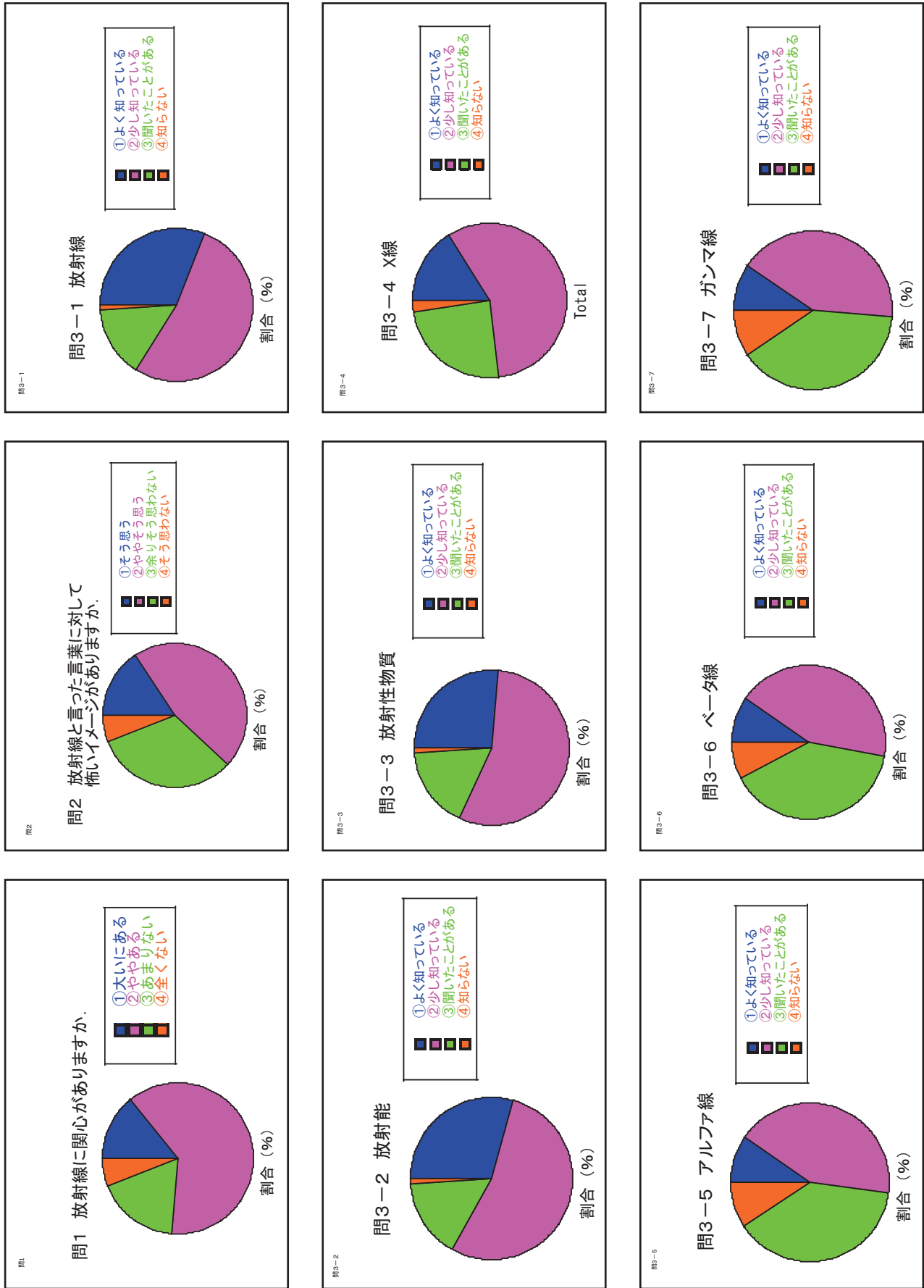


図 2-1 学生全体 問 1 ～ 問 3 - 7

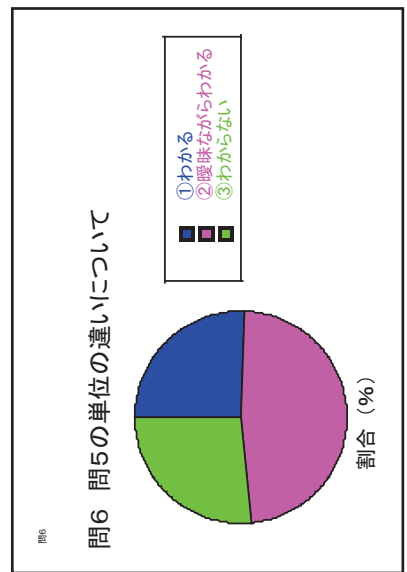
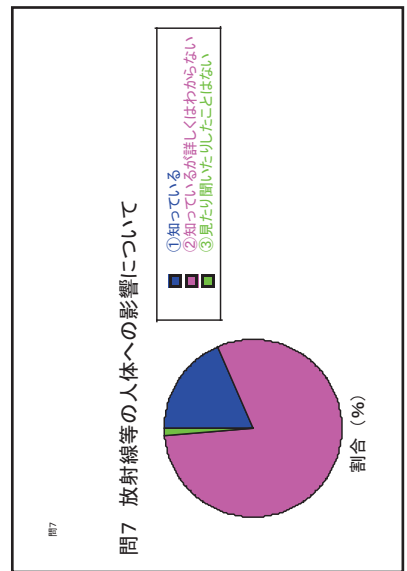
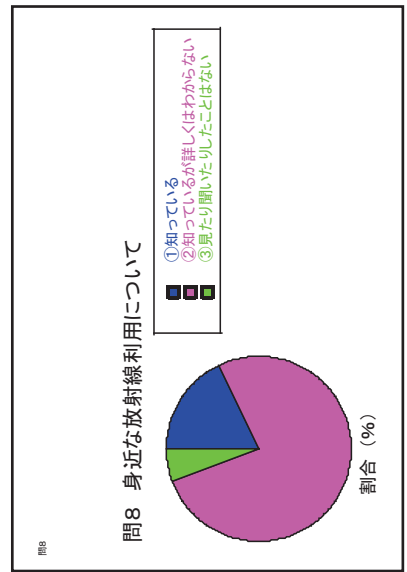
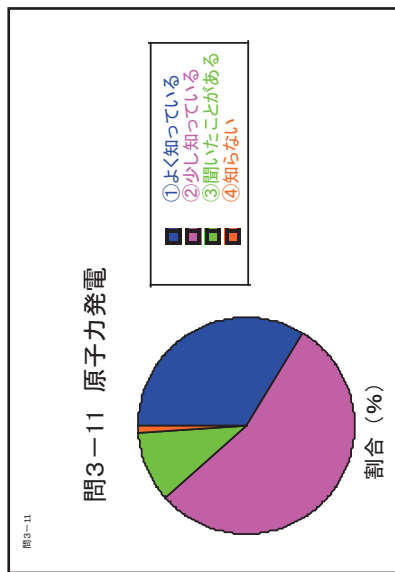
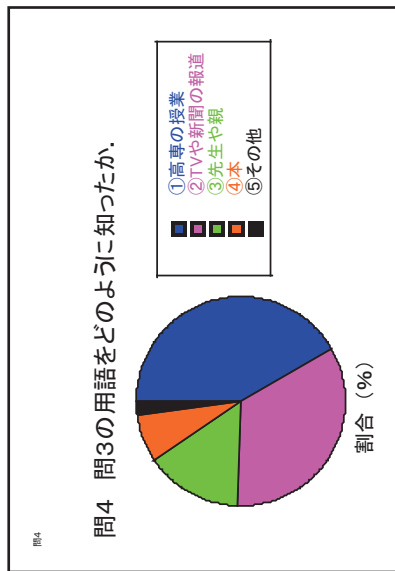
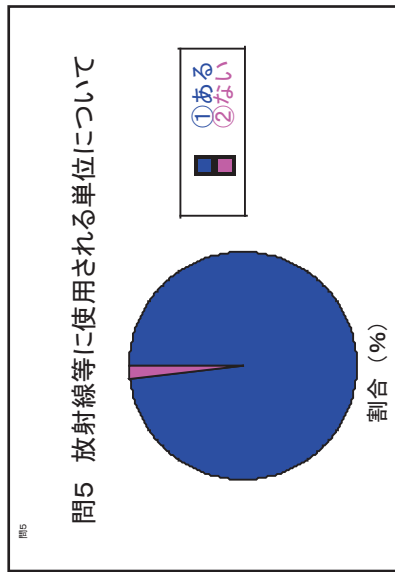
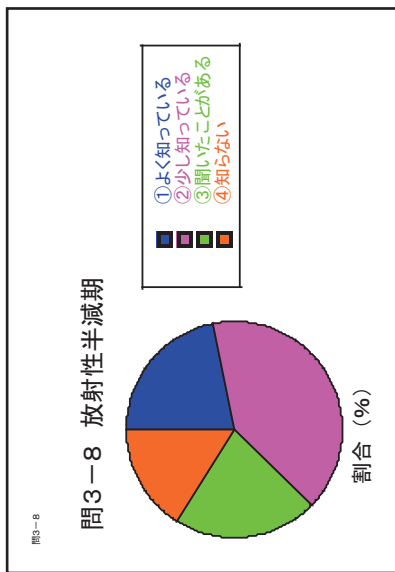
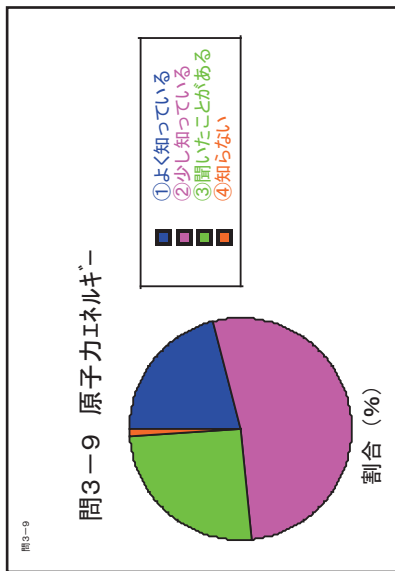
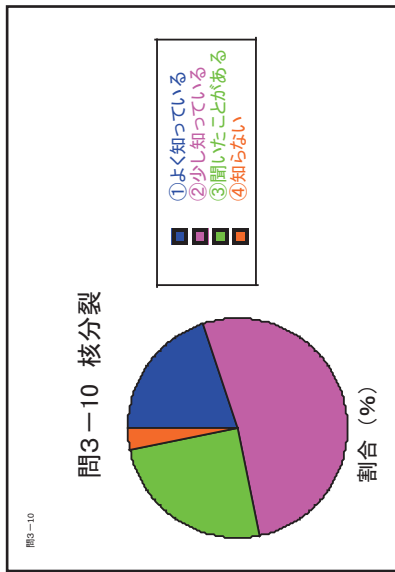


図 2-2 学生全体 問 3 - 8 ~ 問 8

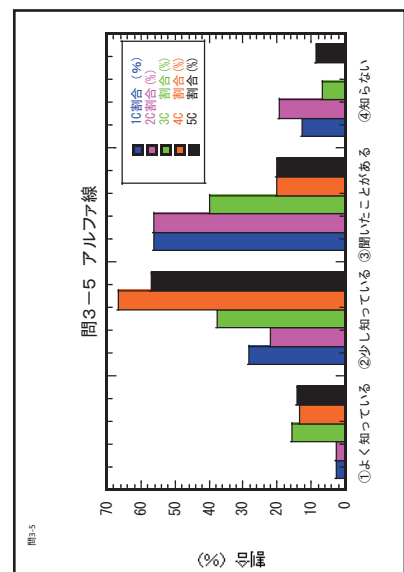
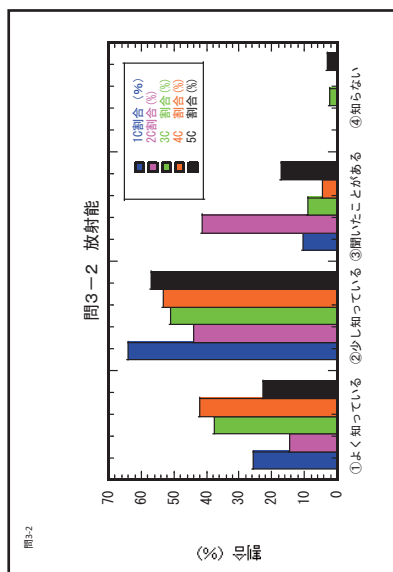
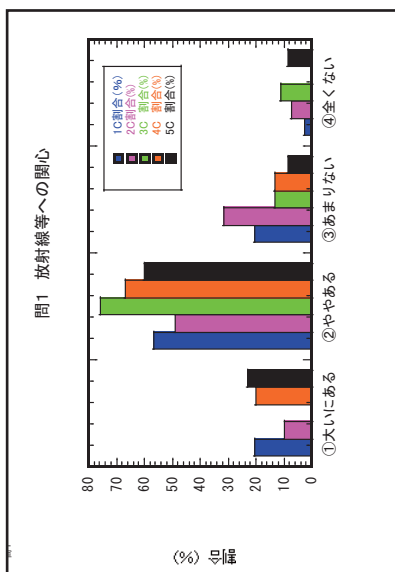
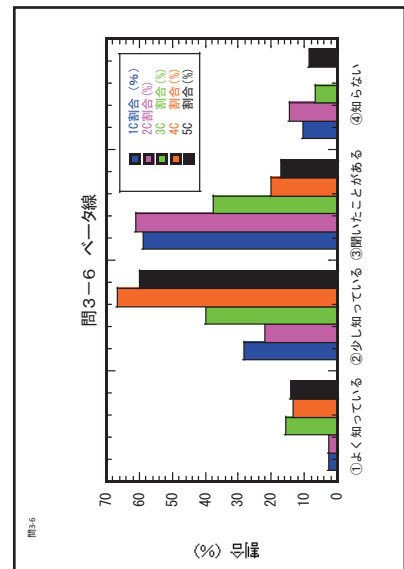
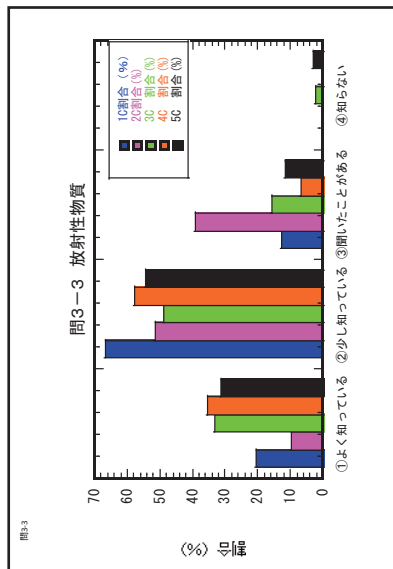
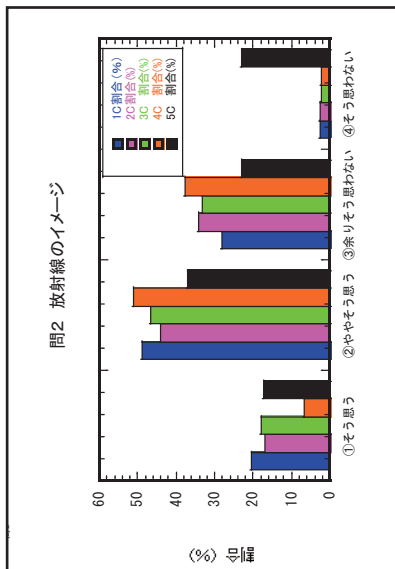
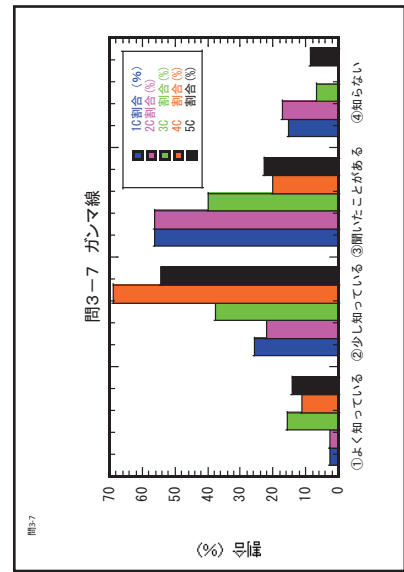
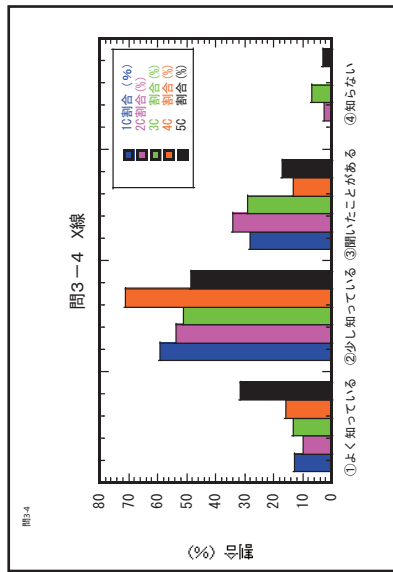
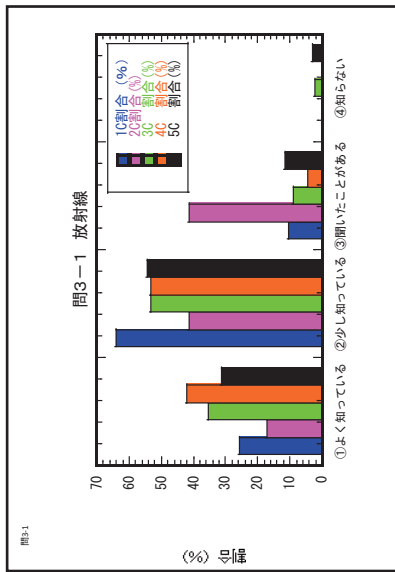


図3-1 学年別 問1～問3-7

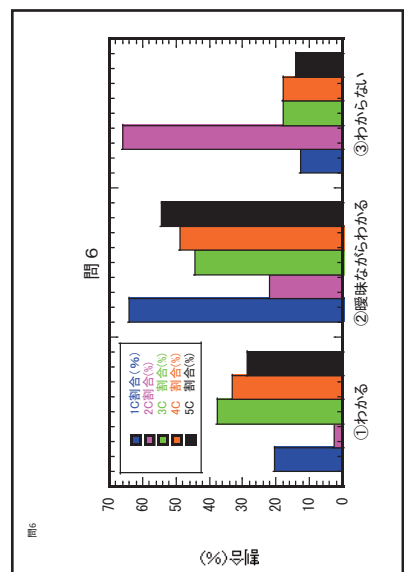
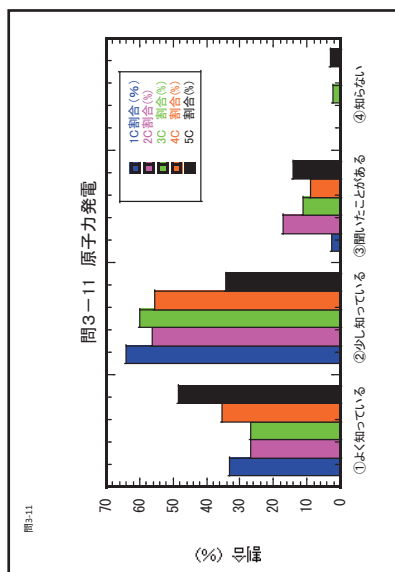
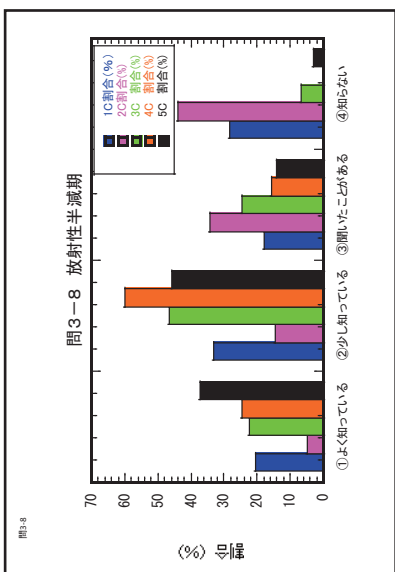
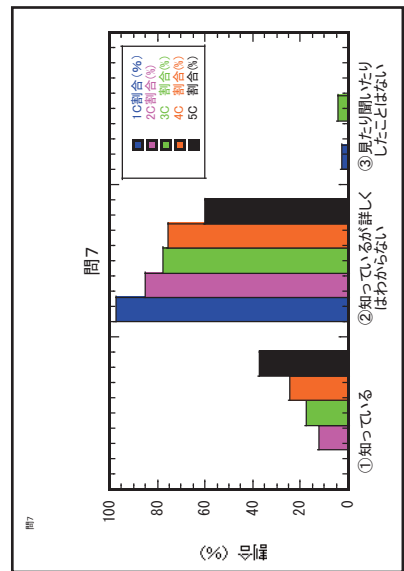
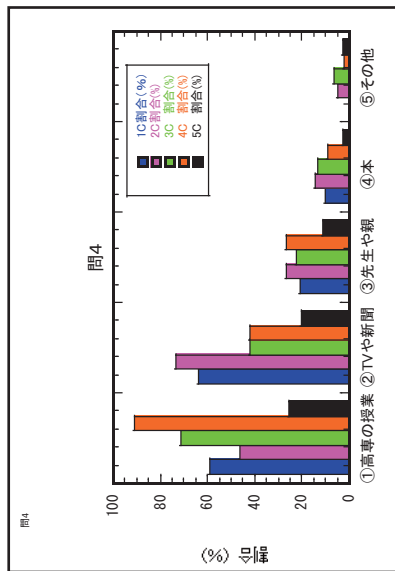
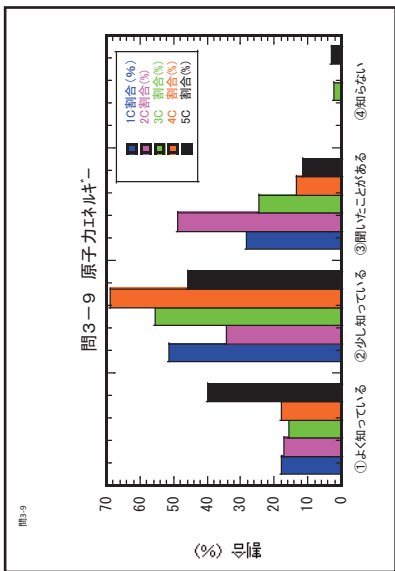
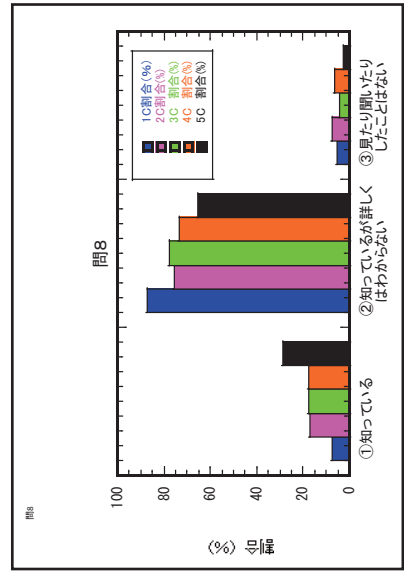
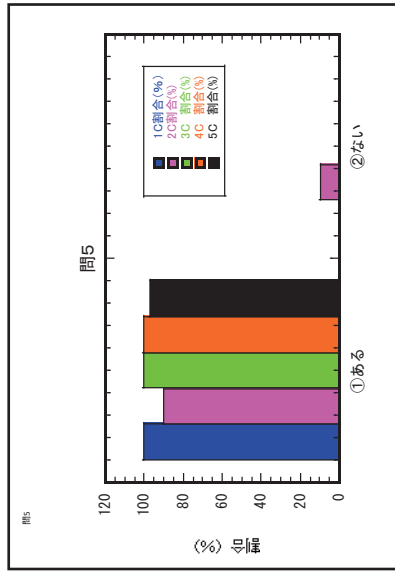
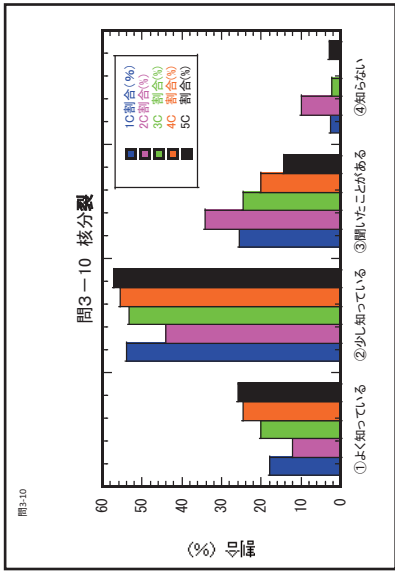


図3-2 学年別 問3-8～問8

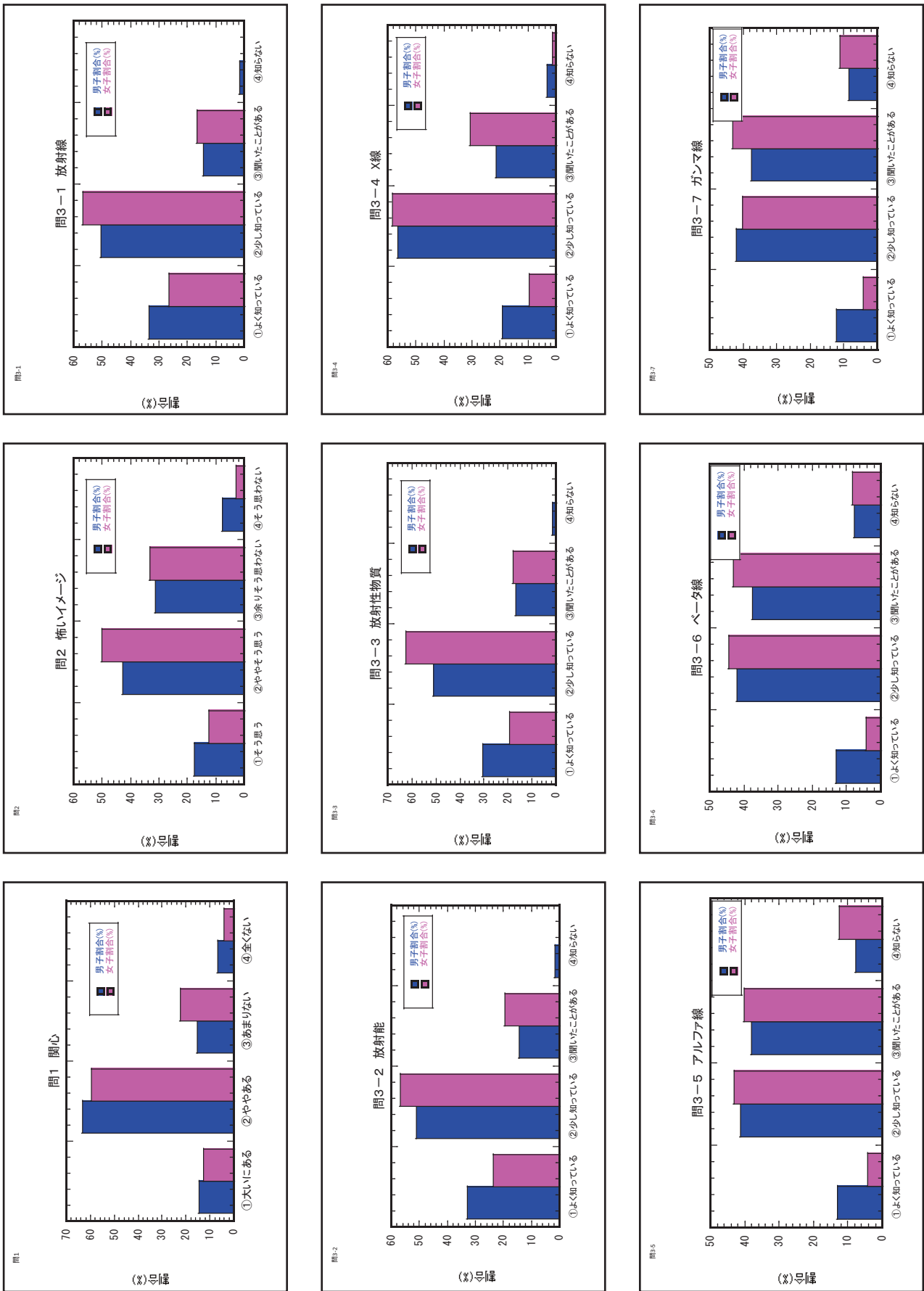


図4-1 男女別 問1～問3-7



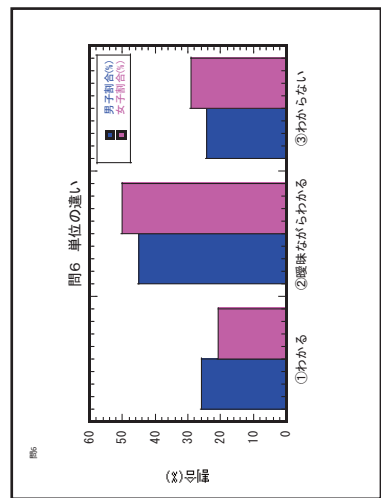
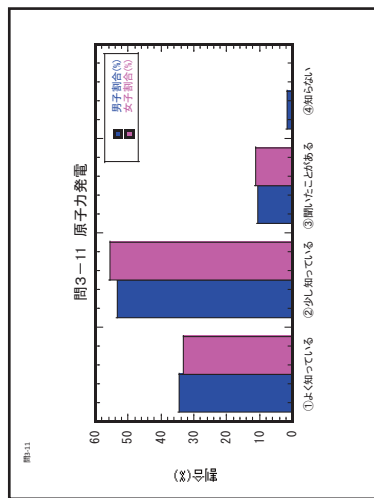
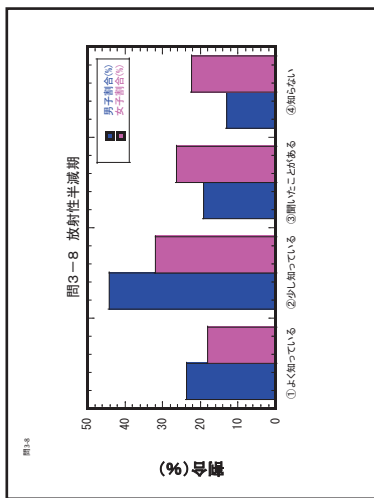
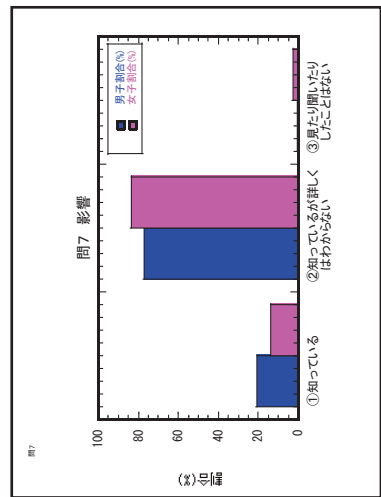
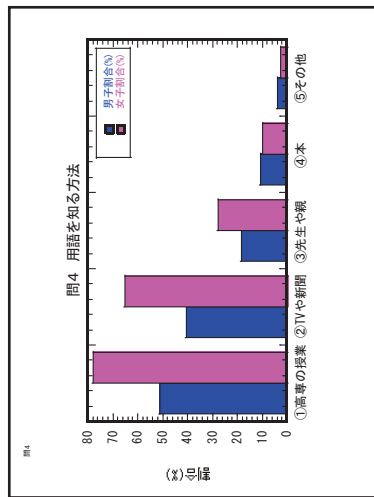
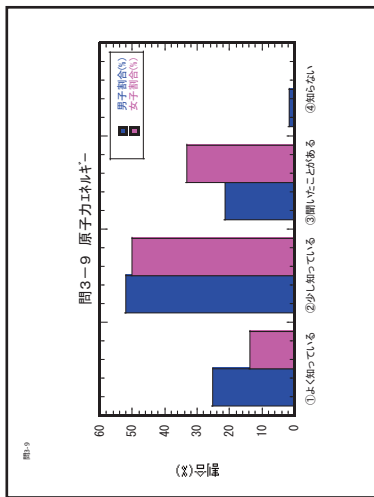
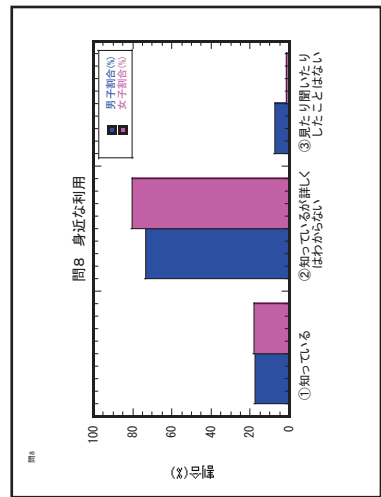
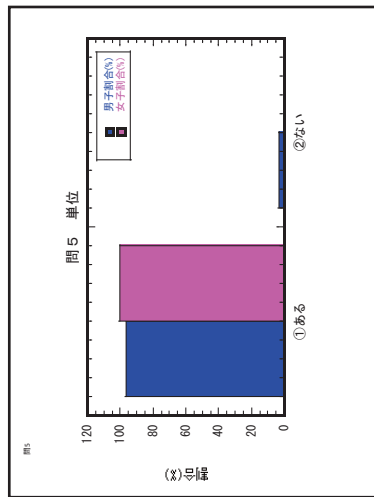
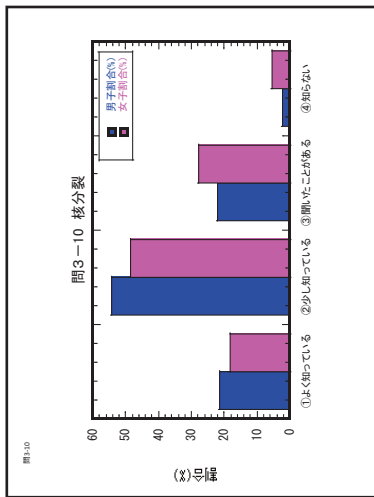


図 4-2 男女別 問3-8 ~ 問8

## 研究集会だより

### 国内

#### 2012年 日本放射化学会年会・第56回放射化学討論会

後藤真一（新潟大学）

2012年日本放射化学会年会・第56回放射化学討論会が2012年10月3日（水）～5日（金）の日程で東京工業大学 大岡山キャンパス（東京都目黒区）の東工大蔵前会館にて開催された。

一般の口頭研究発表、ポスター発表はおおむね例年通りであったが、今回も前回同様福島第一原子力発電所の事故に関するセッションが設けられたのが特徴であろう。以下に開催日ごとのセッションと講演数を示す。

#### 1日目

- 口頭研究発表
  - ・環境・宇宙（6件）
  - ・医学等（6件）
  - ・原子核プローブ（8件）
- 福島原発事故関連
  - 特別セッション講演（8件）
- 特別講演など
  - ・特別講演（1件）
- ポスター発表（26件）

#### 2日目

- 口頭研究発表
  - ・核化学（9件）
- 福島原発事故関連
  - ・特別シンポジウム講演（2件）
  - ・特別セッション講演（10件）
- 特別講演など
  - ・奨励賞受賞講演（1件）

#### 3日目

- 口頭研究発表
  - ・アクチノイド（8件）
  - ・放射化分析（3件）
  - ・同位体化学（3件）
- ポスター発表（26件）

これら講演のほか、例年通り各分野ごとの分科会、若手の会および放射化学会総会が行われた。また、2日目の講演後には東工大百年記念会館にて懇親会が開催された。

福島原発事故に関しては、1日目から特別セッション講演が行われた。昨年の討論会では事故の直後だったこともあり、事故の概要と放射性核種による汚染状況の報告が主なものであったが、今年は汚染の詳細な状況の報告や放射性核種の環境（土壌、植物など）中での挙動に関する発表が多かった。特に興味深かったのは、事故により放出された放射性核種が大気中を移動する際の化学状態に関する発表であった。

福島原発事故関連特別シンポジウムでは、はじめに「東京大学大学院農学生命科学研究科における福島第一原子力発電所事故による放射能影響に関する取り組み」と題して、東京大学の中西友子先生の講演があった。さまざまな研究分野の教員から構成されている東大大学院農学生命科学研究科が、福島原発事故直後から現在までに行ってきた組織的な活動について、これまでに得られた調査結果とともに紹介して下さった。今回の福島原発事故だけでなく事故や災害などに対して大学や学会が積極的に対応するにあたってのモデルケースとして大変参考になるお話であった。続いて、東京工業大学の竹下健二先生には、「放射性セシウムで汚染された水環境の回復技術」とのタイトルで講演していただいた。放射性セシウムで汚染された土壌の除染法として、

水熱分解法と凝集沈殿法を組み合わせた処理法（実際の土壌の除染にはさらに爆砕操作も行われている）についてわかりやすく解説してください。

3日目のポスター発表のほとんどは福島原発事故関連の研究発表であった。事故後、相当数の放射化学会員が福島原発事故に関係した研究を行っていることがわかったが、それぞれ独立した活動のように見え、これだけの研究者が集まっている学会なのだから、学会として組織立った活動を推進してもよいのではないかと感じた。

特別講演は、「素粒子物理学の新展開：CERN/LHC 実験における“ヒッグス粒子らしき新粒子”の動向」とのタイトルで、東京工業大学の陣内修先生に、新聞紙上でも話題になったヒッグス粒子発見に関する講演をしていただいた。多くの参加者が化学系の研究者・学生であることを考慮してくださり、大変わかりやすいお話だった。ヒッグス粒子とは何かというところから始まり、実験手法、解析結果の解釈までかなり詳しく解説していただいた。また、国際的な超大型プロジェクトに参加していることについての貴重なお話も聞くことができた。

奨励賞には清水建設（株）の木下哲一氏が受賞し、受賞講演では、「消滅核種サマリウム-146の研究 —特に半減期測定について—」というタ

イトルで発表していただいた。この研究に関する論文は Science 誌に掲載され、新聞などでも報道された。 $^{146}\text{Sm}$  は年代測定法のひとつである  $^{146}\text{Sm}$ - $^{142}\text{Nd}$  法で用いられる核種であり、その半減期はこの手法で出された年代に影響を与える。大学で与えられた研究が、最終的に多くの人とのかかわりによって大きな成果に結びついた非常に良い例であり、学生や若手研究者に良い刺激になったのではないかと思う。

一般の口頭研究発表およびポスター発表は、例年通り活発な議論が交わされていた。ここ数年、 $\alpha$  線放出核種をがん治療に利用する研究が活発化しており、医学セッションでは多くの発表が行われていた。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$  も含め、国産 RI の核医学への応用という意味で、今後の研究の発展が期待される。

今回も学生などの若手講演者に対して優秀賞が送られた。口頭発表では、張子見さん（1T04、大阪大学）、江口舞さん（3A06、大阪大学）が、ポスター発表では、金谷佑亮さん（1P07、茨城大）、佐藤志彦さん（1P17、筑波大学）、有賀舞さん（3P11、明治大学）が受賞した。

以上、簡単ながら討論会の報告とさせていただくが、最後にお忙しい中準備を進められ、本討論会を成功裏に終わらせた実行委員会の方々に感謝の意を表したい。



写真 討論会の様子

(右：ポスター発表、左：福島原発事故関連特別シンポジウム)

## 京都大学原子炉実験所「有用放射性トレーサーの開発と利用」専門研究会報告

高宮幸一（京都大学原子炉実験所）

京都大学原子炉実験所の専門研究会として「有用放射性トレーサーの開発と利用」に関する研究会が、京都大学原子炉実験所の事務棟大会議室にて2013年1月26日に開催された。実験所外から33名、所内から6名の計39名（内学生11名）の参加者があった。本研究会の開催日の前日には、同じく京大炉にて「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」専門研究会が開催されており、両方の研究会に参加頂いた方もおられた。

本研究会は国内での放射性トレーサー利用の活性化を目指し、その製造方法の開発から利用現場における現状の把握など、幅広い議論を行うことを目的として2010年度から開催されている。そのため核反応や化学精製などに関する基礎的な研究から、新たに開発された放射性トレーサーを用いた画像診断および治療技術に関する研究、国内外での放射性トレーサー製造および利用の現状紹介など、様々なトピックスについて講演や討論が行われてきた。（文末に本研究会のプログラムを付記する）

本研究会は今回で3回目の開催となっているが、2009年の $^{99m}\text{Tc}$ の供給不足問題がそもそもの開催の発端となっていることもあり、今回も含めTc製剤に関する講演が多く見られた。また、 $\alpha$ 線放出核種の医学利用についても継続的に最新の研究成果が報告されている。研究報告以外にも、放射性トレーサーの製造に不可欠な加速器施設や研究用原子炉施設の現状紹介もあり、製造技術開発の展望と合わせて、将来における国内での放射性トレーサー製造の方向性が議論された。今回は日程の都合もあり医学分野からの講演がなかったが、前二回の開催においては医療の現場からの講演もあり、実際に放射性トレーサーを用いた治療や診断を実施している医療分野の専門家と、放射性トレーサー製造の技術開発を

担うべき放射化学、核物理、加速器物理の研究者との間の情報の共有も行われてきた。前述のTc製剤の供給の実態が大きな問題となるまでは、国内での両分野の交流はごく一部でしか行われていなかったが、今後、放射性トレーサーの国内での製造および利用を活性化するためには、このような基礎と応用の両分野での取り組みを一層強化する必須であり、本研究会がその一助となったのではないかと思っている。

京都大学原子炉実験所「有用放射性トレーサーの開発と利用」専門研究会プログラム

1. 「理研における113番元素探索」加治大哉（理研）
2. 「 $^7\text{Li}+^{208}\text{Pb}$  反応でのAtの製造と簡易化学分離」西中一朗（JAEA）
3. 「コンプトンカメラ用RI, Tc-95mの生成」初川雄一（JAEA）
4. 「加速器によるTc-99m製造プロジェクト」高橋成人（阪大院理）
5. 「MoからTc-99mの分離精製法の開発」林良彦（阪大院理）
6. 「B2実験孔照射装置の現状」高宮幸一（京大炉）
7. 「東北大学の加速器共同利用の現況」大槻勤（東北大・電子光セ）
8. 「RCNPの改修の概要と将来計画」福田光宏（阪大・RCNP）
9. 「PET核種の製造とイメージング実験」高橋成人（阪大院理）
10. 総合討論



## 京大炉専門研究会「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」について

関本 俊（京都大学原子炉実験所）

京大炉専門研究会「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」（開催責任者：海老原充、柴田誠一）が平成25年1月25日に、京大炉事務棟大会議室において開催された。本専門研究会は、放射化分析に関する研究会として毎年継続して開催されており（注1）、その内容は、京都大学原子炉実験所 KUR-Report-138, 149, 157 などにまとめられている。

京大炉（KUR）を利用した放射化分析に関する共同利用研究が再開して約2年半が過ぎ、放射化分析を利用した各研究分野において、様々な成果が得られつつあると思われる。特に平成22年度末から23年度初めにかけて、惑星探査機「はやぶさ」が持ち帰った小惑星イトカワの微粒子の微量元素の分析が、KURを用いた中性子放射化分析法により行われ、その結果が米科学誌のサイエンスに掲載されるなど、大きな成果が得られている。

また東日本大震災の影響により、従来の原子力機構のユーザーによる KUR の利用が23年度下半期より増えてきており、原子力機構の JRR-3, JRR-4 の再稼働の目途が立っていない現在においては、平成24年度以降もそれらが増えることも考えられる。

そこで、従来の原子炉利用者（原子力機構の JRR-3, JRR-4 の利用者も含む）及び、それに限らない様々な分野の研究者による、中性子放射化分析法（NAA）、即発ガンマ線分析法（PGA）、光量子放射化分析（PAA）を利用した研究および、これら以外の手法を用いた微量元素の分析に関する研究の成果発表の場として、本専門研究会の開催が申請された。また上記の話題の他、検出器に特化した話題、分析法の比較等々、様々な分野の研究者による、様々なテーマに関する研究発表も募集された。なお本研究会は放射化分析研究会「冬の学校」の活動の一部ともなっている。

さて、今年度（平成24年度）の研究会（注2：プログラム）は、所外の研究者22名、所内の研

究者9名の参加者があった。研究会の概要及び、得られた成果、議論の内容を以下に記す。

研究会の概要：

地球・宇宙科学分野に関する講演が3件（陳、石橋、白井）、分析法・解析手法に関する講演が4件（鶴野、鈴木、小豆川、二宮）、生物試料、環境試料に関する講演が1件ずつ（紀平、初川）、各施設に関する現状の説明が3件（石本、関本、大槻）、その他 FNCA の紹介と今年度のミーティングの報告に関する講演（松尾）と特別講演として、今年度で退官される福岡先生より講演があった。また昼には、分析展2013における放射化分析に関するセミナーのテーマの募集を行い、会議後には、放射化分析研究会の拡大幹事会を行った。

得られた成果、議論の内容：

- ・「負ミュオン特性X線を用いた非破壊元素分析」においては、局所分析の際の位置分解能に関して、 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 程度まで狭くすることが可能であるが、ビーム強度が小さくなることも言及された。
- ・東北大電子光理学研究センターでの光量子放射化分析は2013年7月以降に可能であることが確認された。ANSTOでの放射化分析に関する運営について詳細に紹介された。
- ・荷電粒子を利用した分析については、最適な検出器について議論された。（NaI or CsI）
- ・放射化分析における定量の際に用いられる AIST 発行の標準試料について、その定量値の扱い方について議論された。（単一の標準試料を用いるか、複数用いて、統計誤差の小さいものを選択するか等）
- ・地球化学図に関する研究が、多発地 ALS の初期段階の研究に貢献できる可能性が示唆された。

尚、本研究会の翌日には、「有用放射性トレーサーの開発と利用」専門研究会（開催責任者：篠原厚）が開催され、本研究会の参加者の一部はそちらにも参加した。

平成25年度も、「京大炉（KUR）を用いた放射化分析の成果と今後の展望」というタイトルで、例年と同様に本研究会は申請されている。25

年度の研究会の内容としては、

- ・ NAA, PGA, PAAを利用した研究および、放射化分析以外の手法を用いた微量元素の分析に関する研究の成果発表
- ・ FNCA(Forum for Nuclear Cooperation in Asia)との連携に関する議論
- ・ APSORC'13における放射化分析を利用した研究のレビュー

等を、計画している。

本研究会への要望などがあれば、是非、筆者 (sekimoto@rri.kyoto-u.ac.jp) へご連絡頂きたい。

注1：平成12年度以降は、以下のような題目で開催されている。

- 平成12-13年度「放射化分析の現状と今後の展望」
- 平成14-15年度「ライフサイエンス及び環境科学への放射化分析の応用」
- 平成16-17年度「京都大学原子炉実験所での放射化分析と今後の中性子利用分析」
- 平成18-19年度「放射化分析法利用に関する国際化」
- 平成20年度「京都大学原子炉の再開と放射化分析」
- 平成21-22年度「京大炉(KUR)における総合的微量元素計測システムの構築と応用」
- 平成23-24年度「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」

注2：

「放射化分析を用いた微量元素分析の現状」専門研究会

日時：2013年1月25日

場所：京都大学原子炉実験所事務棟大会議室

10:00- 開会あいさつ 海老原充(研究会所外代表者)  
午前のセッション(座長：大浦泰嗣)

10:05- 「ANSTOの紹介及び訪問について」石本光憲

10:20- 「放射化分析による多発地 ALSの毛髪中元素濃度定量-第2報-」紀平為子

10:40- 「山林地域の土壌の酸中和能に対する植生の影響」

Effects of Regional Vegetation on Acid-Neutralization Capacity of Soil in Mountainous Area」陳品彧

11:00- 「荷電粒子を利用する材料中の酸素、窒素、炭素の高感度分析法」鵜野浩行

11:20- 「地質試料の放射化分析：とくに九州四万十累層群の砂岩について」鈴木達郎

11:45- 昼食

ランチセッション(司会：松尾基之)

12:10-12:40 「分析展2013におけるセミナーのテーマ募集(仮題)」

午後のセッション1(座長：葉袋佳孝)

13:10- 「京大原子炉の現況&その他」関本俊

13:25- 「東北大学電子光理学研究センターの現況」大槻勤

13:45- 「FNCAの現況」松尾基之

14:05- 「放射化分析による熱水性鉱石中のレアメタル存在度の解明(その2)」石橋純一郎

14:30- 「放射化分析45年で得たもの」福岡孝昭

15:00- 休憩

午後のセッション2(座長：久保謙哉)

15:15- 「光子放射化分析による地球・宇宙化学的試料の分析」白井直樹

15:35- 「放射化分析法を用いたSmall Scale Gold Miningによる水銀汚染試料中のHg,Auの分析」初川雄一

15:55- 「国内外における放射性ストロンチウムの定量法」小豆川勝見

16:20- 「負ミューオン特性X線を用いた非破壊元素分析」二宮和彦

16:40- 閉会あいさつ 柴田誠一(研究会所内代表者)及び「有用放射性トレーサーの開発と利用」専門研究会のご案内

## 第14回「環境放射能」研究会

山形武靖 (日本大学文理学部)

第14回「環境放射能」研究会が平成14年2月26日から28日の間、茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構内の研究本館の小林記念ホール/ラウンジにおいて開催された(主催:高エネルギー加速器研究機構 放射線科学センター、日本放射化学会 $\alpha$ 放射体・環境放射能分科会、共催:日本原子力学会保険物理・環境科学部会、日本放射線影響学会、日本放射線安全管理学会)。

JCO 臨界事故の放射能漏洩を問題提起として発起された本研究会は、例年2月末から3月上旬に行われており、自然環境放射能、放射線・原子力施設環境放射能を中心テーマとして討論が行われている。2011年3月に起きた東京電力福島第一原子力発電所の放射能漏洩事故によって多量の放射性核種が環境中に放出されたことから、昨年からの福島事故起源の環境放射能測定が活発に議論される題目となっている。昨年と今年は参加者が事故以前と比較し1.5倍程度に増加し、今年は210名と過去最多の参加者が高エネルギー加速器研究機構に集合した。今回は基調講演4件、口頭発表23件、ポスター発表48件と講演件数も過去最多となり、近年の環境放射能分野への研究者の関心の高さがうかがえた。講演内容は土壌・海水・湖などの環境中放射能濃度、生物・食物などの生体への移行・濃縮、事故時の線量評価・推定、分析法、標準試料作成などのほか、情報処理技術を使った講演もあり非常に多岐にわたる内容であった。福島事故以前は自然環境試料をあつかった講演が多かったが、今回は福島事故起源放射能の生物への移行・濃縮をあつかった講演が13件と、これから我々の生活に非常に密接に関連してくる分野への注目が特に高い印象を受けた。

研究会が始まり、まずは地球化学会・放射化学会の会長を歴任された首都大学東京の海老原充氏から開会の挨拶があり、第五福竜丸のいわゆる「死の灰」の分析についてなど、環境放射能を測定する意義が話された。最初の基調講演では気象研究所の青山道夫氏から「東電福島第一原子力発

電所から海洋に放出された核分裂生成物および中性子放射化生成物の総量と時空間変動」という題目で、現在注目されている放射性セシウムの海洋における分布と移動、また海水試料からの福島事故起源核種の逐次抽出の方法についてのレビューが行われた。青山氏の次に講演を行った近畿大学大学院の中川亮太君は修士1年生で初参加とのことであったが、一般講演20分と決して短くない発表時間を使いいきり、しっかりとした研究発表を行った。質疑応答も堂々とし修士1年生とは思えない発表であった。研究会の一日の閉めは総合討論を行う時間が30分程度設けられ、その日の講演についての質問や問題提起等が行われた。初日の議題は特に「正確な測定を行う」ことに主題が置かれた。Cs-134のサム効果の補正等、放射化学の分野では一般的である話題が、事故後、様々な分野の研究者が測定を行う際にあたり問題になる可能性があることが議論された。結論として「正確なデータ」は分析者が保証すべきであり、データの取り扱いについては細心の注意を払うべきことが確認された。

2日目の口頭発表のトップバッターは大阪大学大学院の修士1年生の張子見君の「固相抽出法を用いたエアダストに含まれる放射性ストロンチウムの分析」であった。1日目の中川君と同様に張君も非常に素晴らしいプレゼンテーションを行った。今回本研究会で発表を行った修士課程の学生は意識も高く立派であり、若い研究者として真剣に福島事故について向き合っていることが確認された。産業総合技術研究所の三浦勉氏の講演である「基準値レベルの放射性セシウム分析用玄米認証標準物質の開発」は、総合討論で議題にあがった「正確な測定を行う」ための標準物質の作成についての内容で、質疑応答においても標準物質の取り扱い、または取扱説明書の記述について活発な議論が行われた。午後の基調講演は放射線医学総合研究所から栗原治氏を招き、「東京電力福島第一原子力発電所事故における周辺公衆の初期内部被ばく線量推計」という題目で、実測、シミュレーションの両方から推測された初期被ばくの評価とその課題についての講演が行われた。午後のセッションでは京都大学の今中哲二氏を中心としたグループによって飯館村の初期

被ばくの推定についての講演があった。このセッションでは、この研究会の主題である環境放射能の測定や評価だけでなく、情報処理やシミュレーションの分野とクロスオーバーさせることにより、新たな事実が見えてくるのが非常に興味深く、これからも様々な分野との協力が必須となってくることでありと感ぜさせるセッション内容であった。

2日目には午前と午後にポスターセッションが行われた。ポスターセッションのコアタイムは発表が多数行われたことから2部に分けられた。ポスター発表はやはり放射性セシウムの分布・動態や生体濃縮を取り扱った議題が多かった。コアタイムは各セッション1時間ずつ設けられ、参加者が多く、どのポスターも次々と質問者が訪れ黒山の人だかりになっていた(図1)。ポスターセッションのコアタイムは2、3日目の午前と午後に設けられ、納得いくまで講演者に質問できる時間があった。発表件数が多くなり時間が制約される中、コアタイムをしっかりと取るという難題をこなすプログラムを作成した世話人の方々の苦労が見えるポスターセッションとなった。夜は高エネルギー加速器研究機構から代表世話人である三浦太一氏の乾杯の音頭を開始の合図として懇親会が催された。懇親会では質疑応答で聞き足りないこと、異分野の研究者とのコミュニケーションなどが和やかに交わされ、大阪大学の篠原厚氏の結びの挨拶まで存分に会食を楽しんだ。

最終日は2件の基調講演が行われた。1件目は日本原子力機構の田中究氏から「福島第一原子力発電所の滞留水に対する分析フローの検討と適



図1 大盛況であったポスターセッション

用」という題目で、現在日本原子力機構において福島第一原子力発電所からの放射性廃棄物をどのような核種をどのような方法で測定し、評価を行っているかの報告が行われた。午後の基調講演では京都大学原子炉実験所を退官される柴田誠一教授から「放射性同位体の生成とその利用から天然における核現象の解明へ」という題目で自身の研究をレビューされる講演が行われた。柴田先生からは測定機器が現在ほど整っていない若い頃から試行錯誤と創意工夫で放射能測定を行われた苦労が語られた(図2)。

研究会の結びには代表世話人の三浦太一氏から研究会若手奨励賞が、1日目の講演である近畿大学大学院中川亮太君の「福島第一原発事故で放出された放射性セシウムによる東京湾底質の放射能汚染の現況」、放射線医学総合研究所の岩田佳代子さんの「福島県沖の海洋生物中の放射性セシウムの生態学的半減期」、このレポートの著者である日本大学文理学部の山形武靖の「東部太平洋湧昇域における海水中<sup>10</sup>Be濃度の深度分布」に送られた。奨励賞受賞者に副賞としてKEK特製Tシャツとストラップが送られた。中川君、岩田さんは若手研究者として非常に優秀であり発表もすばらしかった。それほど“若手”ではない著者の受賞は代表世話人の三浦氏の独断で、福島事故起源の放射性物質の測定も重要であるが、大学の研究室であると数年のサイクルで学生が



図2 基調講演を行う柴田誠一氏



かわってしまうため、福島事故起源の放射能分析のみを行っている微量放射能測定を行える技術を持つ人材が減少してしまうのではないかとの危惧から奨励したとの理由をうかがった。著者が福島事故以降に行われた本研究会に参加し、再確認させられたことは微量放射能測定技術を有している研究者は、このような場合でも「正

確な測定」をいち早く行うことが出来るということであった。本研究会には微量放射能測定技術を持つ研究者が多いため、より深い議論が可能であるのだと感じた。研究会の結びの挨拶は高エネルギー加速器研究機構の放射科学センターセンター長である佐々木氏から挨拶があり、熱い議論を行った3日間を終了した。

## 国外

### ND2013に参加して

関本 俊 (京都大学原子炉実験所)

ND2013 (International Conference on Nuclear Data for Science and Technology 「核データに関する国際会議」) が、2013年3月4-8日に、米国、ニューヨークの Sheraton New York Hotel & Towers にて開催された。この会議は、1978年に英国で第1回目の会議が開かれて以来、約3年ごとに、ヨーロッパ、アメリカ、アジア (基本的には日本で開催。前回のND2010のみ韓国の済州島で行われた。) の持ち回りで行われている歴史ある会議である。口頭発表が約360件、ポスター発表が約130件行われた今回の会議の詳細 (トピックス、プログラム、発表要旨等) は、会議の公式ホームページ (<http://www.bnl.gov/nd2013>) で閲覧が可能である。

会議は、初日のCo-Chairによる開会のあいさつの後、M. Chadwick氏 (LANL) によるOpening Talkを皮切りに、Plenary talkが行われ、その後、各テーマ別の招待講演、一般講演と続いた。M. Chadwick氏のOpening Talkは、核データ研究の過去 (これまでの重要な研究に対するリスペクトを込めて)、現在 (最新の成果) を紹介しながら、今後 (新しい施設に期待される成果など) を展望するという、まさにOpening Talkに相応しい内容であったと思われる。また話しの展開も、Broadwayの中心で行われた今回の会議らしく、各話題をACT-1, ACT-2, ACT-3と銘うって進めたあたりには、Broadwayの文化を尊重する意識も感じられた。また彼の話の途中に、“Gods of Nuclear Science” というタイトルで、核データに関連する自然科学及び物理に多大な貢献をした研究者を写真とともに紹介する映像が流され (日本人では湯川秀樹博士が登場)、それも非常に興味深いものであった。

日本からも多くの参加者があり、その中でもJAEA, 東工大、北大、京大のグループで構成されたJ-PARC/MLF/ANNRIを用いた核データの

研究者グループが一大勢力であった。これに関しては、一つのセッションを作るほど多くの講演があったにもかかわらず、散在してしまったこと、またそれらの多くを紹介するレビュー講演としての位置づけであったと思われる、井頭政之教授 (東工大) の plenary lecture がほぼすべての講演が終わってしまっていた最終日に行われたことは、少し残念であった。多くの講演で、J-PARC/MLF/ANNRIを世界中の研究者へのアピール (研究課題募集も含めた) する意図も感じられ、これも一セッションにまとめて連続講演にしたほうがより効果的であったように思う。

筆者の所属する京大炉からは、堀順一氏 “Measurements of Capture Gamma Rays from the Neutron Resonances of  $^{74}\text{Se}$  and  $^{77}\text{Se}$  at J-PARC/MLF/ANNRI”、八島浩氏 “Measurements of Neutron Capture Cross Section for  $^{74}\text{Se}$ ,  $^{76}\text{Se}$  and  $^{77}\text{Se}$  at KURRI LINAC” による、口頭発表があった。また放射化学会会員においては、坂間稔氏 “Correlation Between Asian Dust (yellow dust) and Specific Radioactivities of Fission Products Including in Airborne Samples in Tokushima, Shikoku Island, Japan, due to the Fukushima Nuclear Accident”、松村宏氏 “Material Activation Benchmark Experiments at the NuMI Hadron Absorber Hall in Fermilab”、及び筆者 “Measurements of Neutron Cross Sections for Chromium, Yttrium and Terbium at 197 MeV” による口頭発表があった。尚、今回の会議の proceedings は、査読後に “Nuclear Data Sheet” 誌に掲載予定である。

以下余談。今回の会議ではバンケットは行われなかった。マンハッタンのど真ん中で、いわゆる通常の価格で行えるバンケットは不可能だったからであろう。また近年多くの国際会議で見られる状況のようであるが、ND2013においても中国からの参加者 (というか参加予定者?) による突如の講演キャンセルが相次いだ。ポスターならまだしも (それでも許されるはずは無いが)、口頭発表でも、会場に演者が不在で、座長もそのことをまったく知らないという状況が見られた。筆者の講演の直前にもそのような様子が見られた (こ

の場合は招待講演のキャンセル!!)。このような品位に欠ける行為は、以前はロシアからの参加予定者の常套手段であったそうだが、最近是中国からもそのような傾向が多く見られるようなので、2013年9月に金沢で行われる APSORC、2016年

に横浜で行われるゴールドシュミット会議のそれぞれの LOC の皆様にも十分、ご注意いただきたいと願う。

次回の核データ国際会議は、2016年にブルージュ（ベルギー）で開催される予定である。



写真 Madison Square Garden での NBA 試合終了後の掲示板  
(現地 3/7 (木) 11pm. NY KNICKS vs. OKC THUNDER)

.....

**情報プラザ (国際国内会議)**

.....

**1. ISRS2013**

**20th International Symposium on  
Radiopharmaceutical Sciences**

日時 : 12 May 2013 → 17 May 2013  
場所 : Jeju, South Korea  
<http://www.isrs2013.org/>

**2. 2013 GRC NuChem**

**2013 Gordon Research Conference on  
Nuclear Chemistry**

日時 : 09 Jun 2013 → 14 Jun 2013  
場所 : New London, NH, United States  
[http://www.grc.org/programs.aspx?year=2013  
&program=nuchem](http://www.grc.org/programs.aspx?year=2013&program=nuchem)

**3. CHE 8**

**8th Workshop on the Chemistry of the  
Heaviest Elements**

日時 : 19 Sep 2013 → 21 Sep 2013  
場所 : Takayama, Japan  
<http://asrc.jaea.go.jp/CHE8/>

**4. ARCEBS-2014**

**Third International Conference on  
Application of RadiotraCers and  
Energetic Beams in Sciences**

日時 : 12 Jan 2014 → 18 Jan 2014  
場所 : Kolkata, India  
[http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.  
py?confId=232642](http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confId=232642)

**5. Actinides 2013**

日時 : 21 July 2013 → 26 July 2013  
場所 : Karlsruhe, Germany  
<http://actinides13.ine.kit.edu/24.php>

**6. Migration conference 2013**

**14th International Conference on the  
Chemistry and Migration Behaviour of  
Actinides and Fission Products in the  
Geosphere**

日時 : 8 Sep 2013 → 13 Sep 2013  
場所 : Brighton, United Kingdom  
[http://www.lboro.ac.uk/departments/  
chemistry/migrationconference2013/](http://www.lboro.ac.uk/departments/chemistry/migrationconference2013/)

**7. 10th International Conference on Tritium  
Science and Technology "TRITIUM 2013"**

日時 : October, 21-25, 2013  
場所 : Nice Acropolis, France  
<http://www.fusion-magnetique.cea.fr/tritium2013/>

**8. 第50回 アイソトープ・放射線 研究発表会**

日時 : 2013年7月3日(水) ~ 7月5日(金)  
場所 : 東京大学弥生講堂 (東京都文京区弥生 1-1-1)

**9. 日本原子力学会 2013年秋の大会**

日時 : 2013年9月3日(火) ~ 5日(木)  
場所 : 八戸工業大学 (青森県八戸市)

**10. ICAME2013**

**International Conference on the  
Applications of the Mossbauer Effect**

日時 : Sep. 1-6, 2013

場所 : Opatija, Croatia

<http://www.icame2013opatija.com/>

**11. ACIN2013**

**International Conference on Advanced  
Complexes Inorganic Nanomaterials**

日時 : July 15-19, 2013

場所 : Namur, Belgium

<http://webapps.fundp.ac.be/acin2013/>

## APSORC13の準備状況

APSORC13 実行委員会・金沢シンポジウム委員会

今回で5回目を数える APSORC (Asia-Pacific Symposium on Radio-chemistry) が、APSORC13として2013年9月22日～27日の日程で、12年ぶりに日本にやってくる。開催場所は伝統誇る金沢である。会場は、放射化学研究者の発表の場として相応しい中心街に至近の白亜の殿堂、金沢市文化ホールである。

APSORC13は、例年行われる放射化学討論会と合同で開催され、学会と金沢のシンポジウム委員会が共同で会議を計画、運営して行われる。学会としてもその運営手腕が試される試金石となる会議でもある。

初めてなのは、その運営方法だけではない。福島第一原発事故を経験して初めての APSORC である。そこで、今回 APSORC では、最重要トピックとして、Fukushima Issues を掲げ、特別セッションを開催することをいち早く決定した。内外の放射化学研究者の最新の研究成果と活発な議論が期待される。そのほか、Hevesy 賞の表彰と、Proceedings の Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 誌への掲載がきまり、トピックごとの Plenary speaker の候補も絞り込まれ、徐々に会議の体裁が固まってきた。

エクスカージョンは、金沢からのアクセスも良い日本の誇る世界遺産の白川郷を予定している。また地元ボランティアから通訳ガイドの協力を得て、毎日金沢市内の観光も予定されている。

これら、APSORC 独自の催しだけではなく、当然のことながら、学会総会、放射化学会賞、奨励賞の授与、受賞講演、分科会も開催される。

現在、公式 web site も開設され、(<http://www.apsorc13.org/>) 要旨の受け付けも開始されている。3月20日現在数十件の応募もあり、発表申し込みの出足もますますである。

さて、前号でも掲載させていただいたポスターをご覧いただけたでしょうか？ここに描かれている鳥は、石川県の県鳥イヌワシである。また、web site のロゴ背景は、立山からの雲海の眺めをデザインし、共に飛翔（放射化学の更なる発展）の願いが込められている。

来年の北陸新幹線金沢開業より一足早く、「新しい金沢、はじまる」ならぬ、「新しい放射化学、はじまる」となるよう APSORC13 を盛り上げたい。着々とボルテージを高め、関係者一堂準備を進めております。金沢でお会いいたしましょう！

(文責：事務局 渡邊)



## 学会だより

### 1. 日本放射化学会第 57 回理事会 [2011 学会 年度第 3 回理事会] 議事要録

日時：2012 年 7 月 14 日 (土) 13:30 ~ 17:30

場所：東京大学工学部 8 号館 8 階会議室 806 号室

出席者：[会長] 永目、[副会長] 篠原 (厚)、沖、[理事] 大槻、横山、野村、榎本、渡邊、海老原、深澤、[監事] 篠原 (伸)、[オブザーバ] 鈴木

欠席者：[理事] 永井、村松 (久)、百島、田上 [監事] 村松 (康)

#### 報告事項

- 事務局より個人会員について、前回理事会からの会員数の増減 (入会 2 名、退会 7 名) と、会費納入状況の報告があり、了承された。賛助会員の新規獲得について意見交換を行い、事務局が勧誘のための資料を準備することとなった。事務局より 2011 学会年度の会計中間報告があり、了承された。
- 役員選挙の実施状況について事務局から説明があり、了承された。通常の理事、監事の選挙に加えて、今回はじめて会長の選挙を実施している。開票は 7 月末の予定である。
- 渡邊理事より以下のネット委員会報告があり了承された。前回理事会以降のメーリングリストへのメール配信数、学会 HP の更新状況、また、メーリングリスト中のメールアドレスの修正を行ったことが報告された。また、APSORC13 のホームページの立ち上げ、1<sup>st</sup> Circular の配信を行ったこと、および APSORC13 専属のネット委員を桐島陽氏 (東北大) に委嘱したことが報告された。
- 大槻理事より編集委員会報告として、JNRS 誌の投稿がなく発刊が困難な状況にあることが再度説明され、意見交換を行った。放射化学ニュース 26 号の目次と刊行予定につい

て報告があり了承された。

- 鈴木達也氏 (長岡技科大) より、第 56 回討論会の準備状況、プログラム、福島関連のセッション、シンポジウム等について説明があり、了承された。
- 来年金沢で開催される APSORC13 の準備状況について渡邊理事より説明があった。実行委員会が発足し、ホームページの作成されたこと、学会の基金より 70 万円の補助を受けたことが報告され、了承された。
- 出版事業の状況について説明があり了承された。海老原理事より「放射化学の事典」の編集は進んでおり、来年出版予定である旨の説明があった。永目会長より「超重元素」の冊子編集についても説明があった。

#### 審議事項

- 2012 年学会賞および奨励賞の選考経過および結果が各選考委員会より報告され、審議の結果、選考結果が了承された。本年は、奨励賞を木下哲一氏 (清水建設) の「消滅核種サマリウム -146 の研究 - 特に半減期測定について -」に授与することとなった。学会賞はなし。
- 次期理事会の体制について意見交換を行った。事務局より、総会案内・委任状等の文面の提案があり審議の結果、了承した。
- 事務局より現時点での 2011 学会年度の事業報告案の説明があり、審議の結果、一部修正の上了承された。
- 事務局より現時点での 2012 学会年度の事業計画案の説明があり、審議の結果、一部修正の上了承された。また同様に、2012 学会年度の予算案の説明があったが、学会誌に関するアンケートを実施し、結果を予算案に反映させることとなった。
- 事務局より JNRS 誌の今後 (放射化学ニュー

ストと合併する、休廃刊する、電子ジャーナルのみとする、邦文論文も掲載する、など)と、現在 JNRS 誌の Supplement となっている討論会要旨集のあり方について尋ねる会員アンケートの設問原案が示され、意見交換を行った。討論会要旨集については審議の結果、JNRS 誌の Supplement をやめ、以前のような単独の要旨集とすることとなった。これらを受け、事務局でアンケート文面を再検討し、早急にアンケートを実施することとなった。

6. 次期の事務局の体制に関連して、現在開始している会員管理業務の業者 (アカデミック・スクエア株式会社 (京都市伏見区)) への委託作業の進捗状況について事務局より説明があり、審議の結果、了承された。

以上

## 2. 日本放射化学会第 58 回理事会 [2011 学会年度第 4 回理事会] 議事要録

日時：2012 年 10 月 2 日 (火) 13:30 ~ 16:47

場所：東京工業大学原子炉工学研究所 2 号館 (北 2 号館) 6 階会議室

出席者：[会長] 永目、[副会長] 篠原 (厚)、沖、[理事] 大槻、横山、野村、榊本、海老原、田上、村松 (久)、[監事] 村松 (康)、[オブザーバ] 鈴木、橋本

欠席者：[理事] 永井、渡邊、深澤、百島、[監事] 篠原 (伸)

### 報告事項

1. 事務局より、前回理事会からの会員数の増減 (個人会員：入会 16 名、退会 0 名、賛助会員：増減なし)、会費納入状況、および 2011 学会年度の会計報告 (決算報告) があり、了承された。
2. 渡邊ネット委員長の資料に基づき、事務局よりネット委員会報告を行った。前回理事会以降のメーリングリストへのメール配信数、学会 HP の更新状況および以下の報告があり了承された。学会のドメイン名 (radiochem.

org) 管理の担当を沖委員からネット委員長に変更する。また新委員で対応する事項として、ドメイン維持手数料の支払い期間の検討、およびメール配信に関して HP から直接依頼できるシステムへの変更を考えている。新学会年度から委員の変更を次のように行う。沖、高宮、後藤各委員が退任し、高宮、後藤両委員の後任としてそれぞれ笠松良崇氏 (阪大) と阪間稔氏 (徳島大学) を新委員に委嘱する。

3. 大槻理事より編集委員会報告として、放射化学ニュース 26 号の目次と刊行予定について報告があり了承された。また、JNRS 誌の投稿がなく発刊が困難な状況にあることが再度説明され、JNRS 誌と放射化学ニュース誌の再編等について意見交換を行った。
4. 鈴木達也氏 (長岡技科大) より、翌日から開催される第 56 回討論会の準備状況等について説明があり、了承された。
5. 来年の APSORC13 の準備状況について横山理事より、予算案、会議の日程、配布するポスター等について説明があり、準備の経過と、今後の予定 (締切日含む) について報告があった。プロシーディングスは J. Radioanal. Nucl. Chem. に掲載予定であり、会期中にヘベシーメダル賞の授与が計画されている。以上の報告が了承された。
6. 出版事業の状況について海老原理事より「放射化学の事典」の編集は進んでおり、日本放射化学会編として来年刊行予定である旨の説明があり了承された。
7. 役員選挙の開票結果 (7 月 27 日開票。結果については開票直後に理事会メンバーに連絡済) について役員選挙管理委員会からの報告資料に基づき事務局から説明があり、了承された。
8. その他 1) 事務局より「環境放射能」研究会世話人からの資料に基づき、今年 2 月末に開催された第 13 回「環境放射能」研究会の報告があり了承された。2) 永目会長より、福島プロジェクトの進捗状況と、学術会議の同様の取り組みとの関係について言及があった。



## 審議事項

1. 9月にメールで実施したJNRS誌の今後のあり方と討論会要旨集の配布方法を尋ねるアンケートの結果について、事務局と大槻理事（編集委員長）より説明があった。JNRS誌に対する設問では、会員全体の集計結果によると、放射化学ニュース誌と合併し、英文と邦文の論文を掲載するとした案が約半数の賛成を得た。次に賛成が多かった案は、JNRS誌単独で存続させるが冊子体は廃止するという案であった。審議の結果、英文誌として存続させる場合には、電子ジャーナルのみとする、ということになった。雑誌の形態の検討は、今後急いで進めていくことになった。

討論会要旨集（現在JNRS誌のSupplementとなっているが、前回の理事会でこれをやめ、単独の要旨集に戻すことが決定している）に対する設問では、現在、討論会不参加者にも要旨集冊子を後日無料で送付しているが、要旨集をpdfファイルでダウンロードできるようにするなら、送付は不要であるという意見が多数を占めた。この結果から、不参加者には今後冊子体の要旨集の無料配布は行わないこととなった。

2. 10月4日開催の第14回総会での議案について、事務局作成の総会資料案に基づき審議を行った。2011学会年度事業報告案、同決算報告案、2012学会年度事業計画案、同予算案、および新役員案について、一部修正の上承認された。会計監査で2011学会年度の決算は適正であったとの報告があり、了承された。また、今年初めて実施した会長選挙に先立ち、役員を選出方法に関する規定、および役員選挙管理委員会内規が改正されたが、会則についても会長の選出に関わる条文を改正することが事務局より提案された。審議の結果、これは特に必要ないこととなった。

以上

### 3. 日本放射化学会第59回理事会 [2012学会年度第1回理事会] 議事要録

日時：2012年10月5日（金）14:20 - 15:30

場所：東京工業大学蔵前会館

出席者：[会長] 海老原、[副会長] 横山、[理事] 鈴木、高橋、橋本、田上、榎本、佐々木、[監事] 永井、[オブザーバ] 永目（前会長）、沖（前事務局）、大槻（ニュース）

欠席者：工藤、野村、百島、渡邊（以上理事）、村松（監事）

## 報告事項

会議に先立ち、出席者による自己紹介が行われた。

## 審議事項

1. 2012 - 2013学会年度理事会の役割分担について  
学会運営業務を担当する人事案について、海老原会長から説明があった。特定の個人に過度な負担が掛からないようにすべく、以下の役割分担を軸とする新体制で臨むことが了承された。  
庶務：佐々木、会計：田上、会員：橋本、出版・広報：高橋、行事：鈴木  
なお、来年のAPSORC開催（於金沢）の対応のため、渡邊理事が担当となった。
  2. 理事会内委員会の設置について  
例年通り、学会賞選考委員会を設置することが了承され、榎本理事が委員長（仮）となった。また、選挙制度検討委員会の設置は見送られた。
  3. 学会として取り組む課題の抽出と意見交換  
以下の課題について、必要に応じてワーキンググループ（仮称）を組織して答申案をまとめる。それに基づいて、理事会で最終案を（できれば次回理事会までに）作成・施行する。次回総会において報告できることが望ましいとの意見が出された。
- 3-0. 学会のありかたについて  
学会としての存在意義を改めて議論すべき時期に来ている。横山副会長を中心に将来

検討WGを結成してはどうかとの意見があった。

- ・KEKの「環境放射能」研究会（次回はH25/2/26-28）との関係についても今後検討してはどうか。

### 3-1. 会誌の発行形態について

学会として大きなウエイトを占めているのが会誌の持続的な発行である。大槻委員長（放射化学ニュース編集委員会）を始め、構成員の留任により、活動を継続していただくこととなった。以下は今後の検討事項である。

- ・現行JNRS誌への和文寄稿を可能にするため、規定の修正案作成
- ・同誌の発行形態の検討：Note or Rapid Comm.の設定や、これらをまとめたfull paper論文の受入れの可否、冊子体とオンラインジャーナルのISSNの取扱い方 など
- ・日本放射化学会誌（“放射化学”（仮題））の検討、規約・細則の作成
- ・体制維持の課題は依然として残っており、引き続き打開策を探る。

### 3-2. 選挙制度の改正について

来年総会での承認を目指して検討を開始する（横山副会長）。

### 3-3. 学会の開催形態について

若手に対してより魅力的な内容・構成が必要である。テーマ（トピックス）の提案やその公募なども検討してはどうか（鈴木）。

### 3-4. 学会賞の選考基準について

- ・JNRS誌への投稿論文があることを基準にしてはどうか。
- ・受賞者に対し、論文投稿を引き続き求めていく。
- ・若手（特に博士課程学生）の投稿を支援することも重要である。との意見が出された。

### 3-5. 名誉会員の推薦について

現状では個人からの推薦となっている。審査の公正さを確保する上では、推薦形態を見直すことも必要（横山副会長）。

次回開催予定：

2012年12月22日（土）13：30より

場所 東京大学工学部8号館8階会議室806号室  
以上

## 4. 日本放射化学会第60回理事会 [2012学会年度第2回理事会] 議事要録

日時：2012年12月22日（土）13:30～17:20

場所：東京大学工学部8号館8階会議室806号室

出席者：[会長] 海老原、[副会長] 横山、[理事] 工藤、鈴木、高橋、橋本、渡邊、野村、田上、百島、榎本、佐々木、[監事] 永井、村松、[オブザーバ] 沖（前事務局）、木村（編集）、大槻（ニュース）

欠席者：なし

### 報告事項

1. 事務局より、会員の動向・会費納入状況の報告がなされた。長期未納者の状況と対策、総会での定足数確認に向けた考え方、賛助会員の勧誘文書について提案された。環境放射能研究会の主催と経費負担について説明があり、了承された。原子力総合シンポの延期について経緯の説明があった。
2. 野村理事より第50回RI・放射線研究発表会企画提案委員会の報告がなされた。企画案があれば、当理事に提案することとなった。
3. 渡邊理事よりネット委員会活動に関し、ネット配信状況、委員の役割分担について説明があった。また、MLでの添付送信が可能なシステムを検討中であること、HPの更新も行うことが紹介された。
4. 渡邊委員より、APSORC実行委員会の会議報告があった。学会学生会員の減額優遇措置について説明された。
5. 海老原会長から編集委員会活動に関し、放射化学の事典の進捗について報告があった。来年の年会時までには発刊の予定で朝倉書店が主体となり準備を進めている。

### 審議事項

1. 2014年日本放射化学会年会・第58回放射化学討論会の開催地候補の選定について、これまでの経緯を参考に開催地を絞り込むことで了承された。学会の活性化の観点から様々な企画を検討する必要があることで一致した。

2. 超重元素のワークショップへの共催依頼の説明後、共催可とされた。共催金額は、会長および事務局で妥当額を検討することで了承された。なお、APSORC13の日程と隣接して外国からの参加も期待できる。
3. 学会賞ならびに奨励賞募集要項案について審議された。事務作業の省力化も視野に入れて選考体制を検討することとした。応募手続き窓口を榊本理事が担当(学会賞担当理事)し、学会賞選考委員会は次回理事会で発足することとした。
4. ジャーナルの改革について、前回総会での了承事項を踏まえ、更なる改革に向けた検討がなされた。今後、編集委員会により詳細を具体化し、理事会にて内容を審議することで了承された。審議の詳細については、以下(その他)を参照されたい。
5. 会の存続に向けての検討と長期展望の取りまとめについて議論された。学会発足当時の経緯やその後の組織としての種々の課題について紹介があり、学会となったことでのメリットがある一方、学会を如何に存続・発展させていくかを今後の課題として継続議論することで一致した。今後WGを立ち上げて検討する。
6. 研究用原子炉の将来について  
学術会議等から存続要望提案書の作成が進んでいる。放射化学会としてもこれに同調するかたちで意見を述べてはどうかとの提案があった。これに対し、以前にKUR再稼働で意見を表明していることもあり、その方向で進めるのがよいとの意見があった。
7. 今後の学会の姿として、アジア・オセアニアなど海外との地域連携の模索を検討していきたいとの提案がなされた。資金面も考慮しつつ、会長を中心としてそうしたアクションを模索することとなった。

以上

## 5. 第14回日本放射化学会総会報告

日時：2012年10月4日 15:05～16:30

場所：東京工業大学 蔵前会館くらまえホール

会則の規定により会長が議長となり、議事が進められた。

### 1. 会長報告

まず、永目会長より概況報告があった。

ア) 2011日本放射化学会年会・第55回放射化学討論会(2011年9月20～23日 長野)において、世界化学年2011の企画として、放射線教育および福島第一原発事故の特別セッション・シンポジウムを開催した。

イ) 東京電力福島第一発電所の事故に対する学会の取り組みについて説明があった。本会では福島原発事故対応プロジェクトチームを組織し、会員からの信頼性の高い時系列、面的データを集集、データベース化して論文化のためのバックアップをしている。引き続きデータ(ダストなど)を集集しているので協力頂きたい。

ウ) 学会賞・木村賞に関する学会賞細則の改正について説明された。現在、学会賞・木村賞は、学会賞規定第2条に定める学会賞の要件「日本放射化学会賞(以下学会賞という)は、放射化学およびその関連分野で、特に優秀な研究業績をおさめた本会会員に授与する。」を受けて細則第4条に定められている。この度以下のように理事会において同4条を改正した。

[改正前]

第4条 規定第2条の学会賞受賞候補者のうち、放射化学および関連分野において、特に優秀な研究業績を挙げ、また、永年にわたってこの学問分野の発展に多大な貢献をした者に、日本放射化学会学会賞・木村賞(以下木村賞という)を授与することができる。

[改正後]

第4条 永年にわたって放射化学および関連分野の発展に多大な貢献をし、この学問分野において優秀な研究業績を挙げた者に、日本

放射化学学会賞・木村賞（以下木村賞という）を授与することができる。

- エ) 会長選挙に関する選挙の規定、内規を整備し、会長選挙を初めて実施したことが報告された。「理事及び監事の選挙方法に関する規定」および「選挙管理委員会内規」に、会長、副会長の選出方法の条文を追加した。改正後の名称をそれぞれ「役員を選出方法に関する規定」および「役員選挙管理委員会内規」とした。

改正により、会長候補は選挙で選出（理事、監事と同じ方法）、副会長候補は理事当選者の中から会長候補の意見を尊重して理事会で選出した後、それぞれ総会で承認を得て決定することとなった。

- オ) 次期事務局体制について説明された。従来の持ち回りの総務事務局を廃止し、会員管理、会費請求業務を委託（委託先:アカデミック・スクエア株式会社（京都市伏見区））することとなった。今後の学会窓口は以下になる。

[学会宛郵便物] (入退会、会員管理関係除く)  
京都大学原子炉実験所（学会所在地）

[入退会、会費納入、会員管理全般] 会員管理係（アカデミック・スクエア株式会社）  
(jnrs@ac-square.co.jp)

[会員メーリングリストへの配信] ネット委員会 (jnrs.net2008@radiochem.org)

[その他の問い合わせ等] 事務局メーリングリスト (jnrs.office2012@radiochem.org)  
(担当理事らが対応)

[事務局注:事務局メールアドレスはその後、jnrs.office2013@radiochem.orgに変更されました]

- カ) 5th Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry '13 (APSORC'13) が、2013年9月22～27日の日程で金沢市文化センターにおいて開催される。2013日本放射化学学会年会・第57回放射化学討論会は同時開催となる。
- キ) 出版関係の状況について報告された。放射化学ニュースは順調に発刊されているが、ジャーナル（JNRS誌）の方は投稿が少なく

2011年は欠番となった。広く投稿を勧誘していくが、特に、学会賞および奨励賞の受賞者にはジャーナルアカウント論文の執筆の義務があることが改めて指摘された。最終講義のまとめなども積極的に投稿願いたい。福島問題特集号も刊行したい。この状況を打開するためにジャーナルの今後に関してアンケートを実施した。また「放射化学の事典」の出版事業が現在進行中である。

- ク) JNRS誌の今後のあり方に関するアンケートの結果について、事務局と大槻理事（編集委員長）より説明があった。正会員、学生会員を合わせた集計結果によると、放射化学ニュース誌と合併し、英文と邦文の論文を掲載するとした案が約半数の賛成を得た。次に賛成が多かった案は、JNRS誌単独で存続させるが冊子体は廃止するという案であった。理事会での審議の結果、英文誌として存続させる場合には、電子ジャーナルのみとする、ということになった。雑誌の形態の検討は、今後急いで進めていくことになっている。

会場からの質問、コメント

(会場) : JNRSの定期的な発行には学術会議への登録という目的があった。アンケートにはそのような趣旨が記載されておらず、回答者はこのことを知らずに回答したのではないか？

(会長) : 現在は学術会議への登録に学会誌発行に関する条件はないので、ジャーナル冊子の廃止による影響はない。

## 2. 2011学会年度事業報告および決算

事務局長より事業報告案および決算案の説明があった。

- ア) 総会（第13回）、および2011日本放射化学学会年会・第55回放射化学討論会を開催した。日本化学会第92回春季年会緊急企画「福島第一原子力発電所事故から1年:環境放射線(能)モニタリングデータの検証」(慶応大学(日吉)、2012/3/28)を開催した。例年と同じく「環境放射能」研究会および核化学夏の学校等を助成事業として助成した。学会、

研究会等への共催、協賛、後援等を3件行った。また討論会の公募セッションに対する補助を行った。

- イ) JNRS誌および放射化学ニュースの発行状況、学会賞の選考(奨励賞1件)、理事会の開催(計7回 メール理事会含む)、各委員会の活動その他がそれぞれ報告された。
- ウ) 出版事業として「放射化学の事典」および小冊子「超重元素の化学」の編集が進行中である。
- エ) 決算案に対して、村松康行監事からの会計監査報告があり、決算の収支および帳簿が正確であり、かつ関係書類も適正に管理されていることを確認したことが報告された。

以上について、会場からの拍手をもって承認された。

### 3. 2012学会年度事業計画および予算

引き続き事務局長より事業計画案および予算案等の説明があった。

- ア) 総会(第14回)、2012日本放射化学会年会・第56回放射化学討論会の開催(総会時に開催中)と、学会賞の選考を行う。助成事業として、研究会等が3件、学会、研究会等への共催、協賛、後援等が5件予定されている。また学会の事業として「放射化学の事典」を朝倉書店より出版予定であることが報告された。
- イ) 会長からの報告にあったように、事務局業務の一部を専門業者に委託する。委託は2012年の会費請求から順次実施する。

会場からの質問、コメント

(会場): 京大炉から国際シンポジウムの後援依頼を行い承認されたと思うが、事業計画(案)に記載がない。

(事務局長): 記載ミスであり、承認されている。

(会場): 学会誌の廃止は急過ぎるのではないかと、もう少し議論をして慎重に決定すべきではないか?

(会長): きちんと議論をした結果であり、あくまで冊子体を廃止するだけでジャーナルは電

子版のみとなるが継続する。

(会場): 福島事故に関する特集号の発行という計画があったと思うが、どうなっているのか?

(会長): 企画して会員に投稿を呼びかけているが、現在のところ掲載が決まっている論文はひとつもない。

(会場): 事務局の会員関連業務の業者への委託費用はどの程度か?

(事務局長): 約40万円である。

(会場): 英文誌がなくなるのはさびしい。単になくすのではなく、投稿を促し掲載される論文数が増えるよう努力すべきではないか?

(会長): ジャーナルは電子版として継続し、なくなるわけではない。

(会場): 電子版であれ、もっと投稿が増えるよう理事会に努力してほしい。

(会場): 刊行物に関するアンケートの結果を見ると、邦文原著論文の掲載希望が多いように思われるが、対応しないのか?

(大概ニュース編集委員長): 編集委員の間で議論しているが、今後も検討を続ける予定である。

(会場): 学会賞受賞者の選定条件に「JNRSへの論文掲載数」に関する条件を入れるなどして投稿数が増えるようにすべきではないか?

(会長): 現在も選定の際には、JNRSへの投稿があったことを条件として選定しているが、選定の条件として明文化はされていない。

(会場): 今後明文化をすべきであると思う。

(会長): 次期役員に検討するよう引き継ぐ。

(会場): 邦文原著論文の掲載に関しても積極的に検討してほしい。

(会長): 編集委員による検討を続けてもらうが、個人的には英文で世界に向けて発信してほしい。

(会場): 「放射化学ニュース」を拡充して邦文によるデータの掲載などを行っても良いのではないかと思う。

大概編集委員長によりアンケートの結果について再度詳細な説明あり。

(会場): やはりアンケート結果からも邦文原著論文への要求は高いと思われる。

(会長): 今後も検討を続けたい。

2012学会年度事業計画および予算について、会場からの拍手をもって承認された。

#### 4. 新役員の選任について

新役員の選任について説明があった。

2012学会年度の新役員案として以下の会員が理事会より推薦された。会長には海老原充氏（首都大）、副会長には横山明彦氏（金沢大）がそれぞれ推薦された。理事には、工藤久昭氏（新潟大）、佐々木隆之氏（京都大）、鈴木達也氏（長岡技科大）、高橋嘉夫氏（広島大）、橋本和幸氏（原子力機構）（以上、新任5名）、梶本和義氏（KEK）、渡邊雅之氏（原子力機構）、野村貴美氏（東大）、田上恵子氏（放医研）、百島則幸氏（九大）（以上、再任5名）が推薦された。監事には、新任の永井尚生氏（日大）と、再任の村松康行氏（学習院大）がそれぞれ推薦された。以上の候補者は共に今回改正された「役員の選出方法に関する規定」および「役員選挙管理委員会内規」に基づき7月に実施した役員選挙で過半数の得票を得て当選となった後、理事会から推薦された方である。なお、副会長については同規定に基づき、会長に当選した海老原氏の理事当選者の中から横山氏を推薦し、理事会が推薦を決定したものである。

新役員の選任について、会場からの拍手をもって承認された。

#### 5. その他

- ・ 科研費に関して以下のアナウンスがあった。時限付き公募であった「量子ビーム科学」が、複合新領域の分野「理工系 総合理工」の細目として設定された。また本会会員が参加している、新学術領域研究「福島原発事故より放出された放射性核種の環境動態に関する学際的研究」で公募研究を募集する。
- ・ 「日本学術会議 総合工学委員会 原子力事故対応分科会 原発事故による環境汚染調査に関する検討小委員会」に「初期被ばく関連データ発掘・収集ワーキンググループ」が設置されデータ収集が行われるので協力していく。

以上の承認された事業報告、決算報告、事業計

画、予算、および新役員と、学会賞の受賞者および研究題目を以下にまとめて示す。（事業計画のみ、一部記載漏れを修正（会場からの質問参照））

#### ○ 2011 学会年度事業報告

##### 1. 総会

第13回日本放射化学学会総会（2011/9/21、長野市若里市民文化ホール）

##### 2. 討論会

2011日本放射化学学会年会・第55回放射化学討論会（2011/9/20～22、長野市）

##### 3. 研究発表会、講演会、研究会等の開催（助成事業）

- ・ 第13回「環境放射能」研究会（つくば市 KEK、2012/2/27～29）
- ・ 第51回核化学夏の学校（秋保温泉、2012/8/30～9/1）
- ・ 2011日本放射化学学会年会・第55回放射化学討論会の公募・特別セッションに対する補助
- ・ 「福島第一原子力発電所事故から1年：環境放射線（能）モニタリングデータの検証」日本化学会第92回春季年会緊急企画（慶応大学（日吉）、2012/3/28）

##### 4. 会誌、研究報告、資料等の発行

- ・ 日本放射化学学会誌別冊（2011 日本放射化学学会年会・第55回放射化学討論会要旨集、J. Nucl. Radiochem. Sci., Vol. 12, Supplement, Sep., 2011）.

- ・ 放射化学ニュース第24号（2011年9月）.
- ・ 放射化学ニュース第25号（2012年4月）.

##### 5. 学会、研究会等への共催、協賛、後援等

- ・ 第6回高崎量子応用研究シンポジウム（2011/10月、高崎）
- ・ 第1回環境放射能除染研究発表会（2012/5月）
- ・ 第49回アイソトープ・放射線研究発表会（2012/7月、東京）

##### 6. 学会賞 奨励賞の授与1件

##### 7. 理事会

第55回（2011/12月、メール理事会）、第56回（2012/2/28、つくば KEK）、第57回（2012/7/14、東京）、第58回（2012/10/2、東工大（大岡山））計4回。その他メール理事会3回

## 8. 委員会活動等

ジャーナル編集委員会、ニュース編集委員会、企画/広報委員会、インターネット管理運営委員会、役員等推薦委員会、選挙管理委員会、学会

## 賞選考委員会

9. 放射化学出版事業「放射化学の事典」の編集が進行中。小冊子「超重元素の化学」の編集が進行中。

○2011学会年度(2011年9月1日-2012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	1,980,000	△120,000	
賛助会費	1,400,000	1,300,000	△100,000	
雑収入	150,000	431,105	281,105	雑誌バックナンバー、書籍売上げ、寄付等
前年度繰越金	1,673,206	1,673,206	0	
収入合計	5,323,206	5,384,311	61,105	

## 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	270,000	200,000	70,000	第56回討論会(2012)
要旨集(学会誌)補助	500,000	500,000	0	第55回討論会(2011)
出版事業費	1,780,000	1,109,652	670,348	
事務費	30,000	0	30,000	会議費、事務通信費等
ニュース印刷費	900,000	1,053,590	△153,590	ニュース24号、25号
ジャーナル印刷費	700,000	0	700,000	発刊せず
発送費	150,000	56,062	93,938	送料、封入作業等
会議費	530,000	212,600	317,400	旅費、会場費等
理事会	450,000	196,740	253,260	旅費
委員会等	80,000	15,860	64,140	旅費
研究会等補助	200,000	50,000	150,000	環境放射能研究会、夏の学校
環境放射能研究会	50,000	50,000	0	
核化学夏の学校	100,000	0	100,000	
環境放射能夏の学校	50,000	0	50,000	
事務局経費	595,000	299,994	295,006	
事務費	90,000	14,177	75,823	封筒作成費等含む
選挙関係	180,000	110,498	69,502	印刷費、封入作業費、送料等、後納郵便代
外部委託費用(会費、 会員管理)	300,000	167,769	132,231	初期費用(データ移行費)含む
通信費	25,000	7,550	17,450	切手、送金手数料等
ネットワーク管理運営費	21,780	23,760	△1,980	プロバイダ費用(年払い)
学会賞	55,000	45,859	9,141	
楯	40,000	32,550	7,450	
表彰状印刷、額縁	15,000	13,309	1,691	名誉会員証含む
共催金	5,000	0	5,000	
合計	3,956,780	2,441,865	1,514,915	
繰越残高	1,366,426	2,942,446		

銀行預金次年度繰越金	
普通預金	2,942,446 円
(内訳)	
三井住友銀行	1,758,403 円
ゆうちょ銀行	1,184,043 円
定期預金	3,735,311 円
(内訳)	
基金 (黒田基金 40 万円を含む)	
(APSORC13 補助として 70 万円支出)	2,808,418 円
記念事業分	626,822 円
基金 (斎藤基金)	300,071 円
預金合計	6,677,757 円

## ○ 2012 学会年度事業計画

## 1. 総会

第 14 回日本放射化学会総会 (2012/10/4、東京工業大学蔵前会館くらまえホール)

## 2. 討論会

2012 日本放射化学会年会・第 56 回放射化学討論会 (2012/10/3～5、東工大学蔵前会館)

## 3. 研究発表会、講演会、研究会等の開催 (助成事業)

- ・第 14 回「環境放射能」研究会 (つくば市 KEK)
- ・第 52 回核化学夏の学校
- ・2013 環境放射能・放射線夏の学校

## 4. 会誌、研究報告、資料等の発行

- ・日本放射化学会誌別冊 (2012 日本放射化学会

年会・第 56 回放射化学討論会要旨集、J. Nucl. Radiochem. Sci., Vol.13, Supplement, Oct., 2012).

- ・放射化学ニュース第 26 号 (2012 年 10 月).
  - ・放射化学ニュース第 27 号 (2013 年 4 月).
5. 学会、研究会等への共催、協賛、後援等
- ・第 7 回 高崎量子応用研究シンポジウム (2012/10 月、高崎)
  - ・第 50 回 アイソトープ・放射線研究発表会 (2013/7 月、東京)
  - ・第 4 回 MLF シンポジウム・茨城県ビームライン平成 23 年度成果報告会 (2012/10 月)
  - ・講習会 福島原発事故における放射能汚染対策技術の基礎と応用 (日本機械学会) (2012/10 月)
  - ・第 1 回 京都大学原子炉実験所 原子力安全基盤科学研究シンポジウム「東京電力福島第一原子力発電 所事故における環境モニタリングと線量評価」 (2012/12/14)

## 6. 学会賞 学会賞、奨励賞の選考

## 7. 理事会

第 59 回 (2012/10/5 東工大)、第 60 回 (2012/12 月、東京またはメール理事会)、第 61 回 (2013/2 月または 3 月、つくば)、第 62 回 (2013/7 月、東京)、第 63 回 (2013/9 月、金沢) 計 5 回。

## 8. 委員会活動等

ジャーナル編集委員会、ニュース編集委員会、企画/広報委員会、インターネット管理運営委員会、役員等推薦委員会、選挙管理委員会、学会賞選考委員会

## 9. 放射化学出版事業

放射化学の事典 刊行予定



## ○ 2012 学会年度（2012 年 9 月 1 日 - 2013 年 8 月 31 日）予算

## 収入の部

単位（円）

項目	2011 学会年度	2012 学会年度	差 額	備 考
個人会費	2,100,000	2,000,000	△ 100,000	
賛助会費	1,400,000	1,300,000	△ 100,000	
雑収入	150,000	150,000	0	雑誌バックナンバー、書籍売上げ、寄付等
前年度繰越金	1,673,206	2,942,446	1,269,240	
収入合計	5,323,206	6,392,446	1,069,240	

## 支出の部

単位（円）

項目	2011 学会年度	2012 学会年度	差 額	備 考
討論会補助金	270,000	200,000	△ 70,000	第 57 回討論会（2013）
要旨集（学会誌）補助	500,000	500,000	0	第 56 回討論会（2012）
出版事業費	1,780,000	1,380,000	△ 400,000	
事務費	30,000	30,000	0	会議費、事務通信費等
雑誌印刷費	1,600,000	1,200,000	△ 400,000	
発送費	150,000	150,000	0	送料、封入作業費等
会議費	530,000	530,000	0	旅費、会場費等
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	環境放射能研究会、夏の学校
環境放射能研究会	50,000	50,000	0	
核化学夏の学校	100,000	100,000	0	
環境放射能夏の学校	50,000	50,000	0	
事務局経費	595,000	520,000	△ 75,000	
事務費	90,000	100,000	10,000	封筒作成費等含む
選挙関係	180,000	0	△ 180,000	
外部委託費用（会費、 会員管理）	300,000	400,000	100,000	
通信費	25,000	20,000	△ 5,000	切手、送金手数料等
ネットワーク管理運営費	21,780	35,000	13,220	プロバイダ費用、ドメイン維持手数料
学会賞	55,000	55,000	0	
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	1,366,426	2,967,446	1,601,020	
支出合計	5,323,206	6,392,446	1,069,240	

## ○2012 学会年度役員

会長 海老原 充 (首都大) (就任年次:1 年目)  
副会長 横山 明彦 (金沢大) (就任年次:1 年目 (1 期目))

理事 工藤久昭 (新潟大) (1 年目 (1 期目))、佐々木隆之 (京都大) (1 年目 (1 期目))、鈴木達也 (長岡技科大) (1 年目 (1 期目))、高橋嘉夫 (広島大) (1 年目 (1 期目))、橋本和幸 (原子力機構) (1 年目 (1 期目))、榎本和義 (KEK) (2 年目 (2 期目))、渡邊雅之 (原子力機構) (2 年目 (2 期目))、野村貴美 (東大) (2 年目 (2 期目))、田上恵子 (放医研) (3 年目 (2 期目))、百島則幸 (九大) (3 年目 (2 期目))

監事 永井尚生 (日大) (1 年目 (1 期目))、村松康行 (学習院大) (3 年目 (2 期目))

## ○2012 年日本放射化学学会学会賞、奨励賞

今回の受賞者および研究題目は以下のとおりである。総会に引き続き授賞式が行われた。

学会賞 受賞なし。

奨励賞「消滅核種サマリウム-146 の研究 - 特に半減期について -」木下 哲一氏 (清水建設 (株) 技術研究所 原子力施設技術センター)

以上

## 6. 会員動向 (平成 24 年 9 月～平成 24 年 12 月)

## 退会 (個人会員)

氏名	氏名
秋葉 文仁	高橋 暁美
川瀬 雅也	村松 康司

## 退会 (学生会員)

氏名	氏名
井上 貴尋	小嶋 貴幸
齋藤 辰宏	高橋 駿介
田口 司	萩原 淳平
南 大地	

## 退会 (賛助会員)

社名・団体名
北陸電力 (株)

## 7. その他

## (1) ジャーナルについてのお知らせ

理事会・編集委員会では、英文誌の改革に取り組んで参りましたが、和文誌についても引き続き議論を進めてきました。以下にその内容をご紹介します。詳しくは学会 HP を参照してください。

英文学会誌 (以後、JNRS 誌) は web でのみ公開とし、冊子体はやめる。速報の掲載も行う。年会の日本語予稿集の supplement は廃止。国際会議の proceedings は article と同じ位置づけとする。JNRS 誌投稿は少ないながらもあるが、accept に至らないのが現状である。学会賞ならびに奨励賞受賞者への投稿の依頼を続けるが、執筆の強制は中々難しい。ただ学会賞については JNRS 誌への投稿が少なくとも 1 報あってもいいとの意見があり、今後継続して議論する。

和文誌は、現行の放射化学ニュースを「放射化学」と改名し、これまでのニュース記事のほか、原著論文、レビュー、速報なども掲載する。これまで通り電子ファイルでの配布を行い、希望者に冊子体を郵送する。なお、冊子体の希望者の増加に対応できるか、会計的な検討も進めています。次回 3 月発刊時から査読付き論文を受け入れるべく、JNRS 誌と同様の規定等を定めましたので、学会 HP をご覧下さい。

## 「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われない内容とし、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。また別刷りは作成しない。

(原稿料)

**第 13 条** 編集委員会の依頼による論文については原稿料を支給することがある。

(著作権)

**第 14 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。

(本規則の改定)

**第 15 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、2013 年 1 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、実費を著者負担とする。なお、論文誌 web サイト公開用の PDF 版のみ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

〒 982-0826 仙台市太白区三神峯 1-2-1  
東北大学電子光理学研究センター 大槻 勤 編集委員長  
Tel: 022-743-3426, Fax: 022-743-3402  
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、会員担当 高宮 幸一(〒590-0494 大阪府泉南郡熊取町朝代西 2 丁目 1010 番地 京都大学原子炉実験所原子力基礎工学研究部門同位体製造管理工学研究分野(柴田研究室)内 日本放射化学会事務局、FAX: 072-451-2632、E-mail: takamiya@rri.kyoto-u.ac.jp)にご連絡下さい。

## 放射化学 第 27 号

平成 25 年(2013 年) 4 月 30 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: 大槻 勤、委員: 中島 覚、佐々木隆之、箕輪はるか、濱島靖典、大矢恭久、  
安田健一郎、阿部琢也

連絡先: 〒982-0826 仙台市太白区三神峯 1-2-1 東北大学電子光理学研究センター

E-mail: ohtsuki@LNS.tohoku.ac.jp

### 発行

日本放射化学会

事務局長: 沖 雄一

Web: <http://www.radiochem.org/> または、<http://wwwsoc.nii.ac.jp/jnrs/>

事務局 所在地: 〒590-0494 大阪府泉南郡熊取町朝代西 2 丁目 1010 番地

京都大学原子炉実験所原子力基礎工学研究部門同位体製造管理工学  
研究分野(柴田研究室)内

E-mail: [jnrs.office2008@radiochem.org](mailto:jnrs.office2008@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

## 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

セイコー・イージーアンドジー株式会社

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

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/>



# 独立行政法人日本原子力研究開発機構

## 東京電力福島第一原子力発電所事故への対応

### 廃止措置・環境修復に向けた技術開発等

機構全体として人材・研究施設を最大限に活用し、総力をあげた取組

#### 長期的エネルギー安全保障 地球環境問題の解決

高速増殖炉サイクル技術  
(国家基幹技術)

高レベル放射性廃棄物  
処分技術

#### 国際競争力のある科学技術を 生み出す基盤

核融合研究開発

量子ビームテクノロジー

#### 原子力の安全と平和利用を 確保するための活動

安全研究



#### 原子力施設の廃止措置 廃棄物処分

自らの施設の廃止措置

廃棄物の処理処分

#### 共通的科学技術基盤

先端基礎研究

原子力基礎工学研究

#### 外部との連携と情報の提供

産学官との連携

国際協力

人材育成

原子力情報

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49  
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



ガンマ線放出核種(ガンマ線スペクトロメトリーによる)、トリチウム、炭素14、クリプトン85、ストロンチウム90、セシウム137、トリウム、ウラン、プルトニウムなど、あらゆる放射能を分析します。



## ② 安定同位体比等の分析

食品の炭素、窒素等の安定同位体比分析、シックハウスの原因物質に関する分析などを行います。



## ③ 環境放射能分析研修

都道府県モニタリング機関対象研修、一般機関対象研修など多数のコースを用意しています。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)



財団法人  
**日本分析センター**

問合せ先

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](mailto:webman@jcac.or.jp)

〒263-0002 千葉県千葉市稲毛区山王町295番地3  
電話：043-424-8661 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
  - 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
- 放射線業務従事者の登録データを用いた低線量長期間被ばくによる健康影響の調査

### 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」、専門書等の刊行
- ・ 「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はじめました(放射線取扱主任者講習修了証が発行されます)
- ・ 原子力人材育成のための研修の実施
- ・ 教員免許状更新講座
- ・ 原子力・放射線に関する研修会の企画・開催支援

**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

メンテナンス。



厳しく、

原子力発電所、原子燃料サイクル施設などの管理、  
保全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関連施設の分野でも  
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線  
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
  - 放射線管理 ●作業環境測定 ●放射性汚染除去 ●廃棄物処理
  - 清掃・区域管理 ●施設/設備運転・点検保守 ●加速器運転
  - フィルター交換 ●各種工事
  - 機器販売、同位体販売、マニプレータ販売 など
- PET薬剤製造事業
  - PET治療薬製造、ホットラボ運営、
  - 治験薬GMP支援 など

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

- 本 社：〒104-0041 東京都中央区新富2-3-4 TEL.(03)5540-7950 FAX.(03)5541-2801
- R I 事 業 部：〒104-0041 東京都中央区新富2-3-4 TEL.(03)5540-7952 FAX.(03)5541-2802
- 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
- Ri事業関連部署：札幌事務所 TEL.(011)205-5205/大洗営業所 TEL.(029)266-1331/大阪営業所 TEL.(06)6384-6730  
東海営業所 TEL.(029)282-1662/東京営業所 TEL.(03)5540-7953/福岡事務所 TEL.(092)483-0240  
神戸医療オフィス TEL.(078)599-6851



**サーベイメータ**

放射能汚染はないか、放射線のレベルはどのくらいか、どれだけ放射線を受けたか、それらは測定器で見ることができます。目的に応じた、豊富な機器をご用意しております。

**ALOKA**  
illuminate the change

●表面汚染測定用

$\beta$ 線測定用

TGS-146B



TCS-316H



TPS-313



$\gamma$ 線測定用

TCS-173C



$\alpha$ 線測定用

TCS-232B



$\alpha$ ・ $\beta$ 線測定用

TCS-362



●線量当量率測定用

$\gamma$  ( $\infty$ ) 線測定用

ICS-323C



TCS-171B



TCS-172B



PDR-111



n線測定用

TPS-451C



**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-alko.co.jp](http://www.hitachi-alko.co.jp)

放射線計測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。



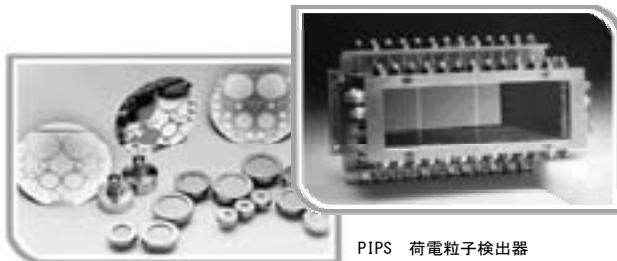
ゲルマニウム半導体検出器



電気冷却型 クライオパルス 5



液体窒素循環型 (Ge検出器用)  
クライオサイクル



PIPS 荷電粒子検出器



LYNX デジタルシグナルアナライザ  
LISTモード搭載

キャンベラジャパン株式会社 本社 〒111-0053 東京都台東区浅草橋4-19-8 浅草橋ビル  
東京本社 TEL:03-5835-5402 FAX:03-5835-5403  
大阪営業所 TEL:06-4806-5662 FAX:06-4806-5663  
テクニカルセンター TEL:03-5835-5404 FAX:03-5835-5405  
E-Mail: [jp-sales@canberra.com](mailto:jp-sales@canberra.com)  
E-Mail: [jp-support@canberra.com](mailto:jp-support@canberra.com)

**CANBERRA**

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アンプファイア

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、多チャンネルアンプファイア、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



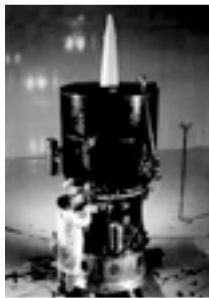
80110型プリアンプ



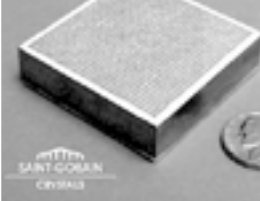
80112型MPX



LYSO、LaCl<sub>3</sub>、LaBr<sub>3</sub>、NaI、CsI、BGO、CdWO<sub>4</sub>、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、<sup>3</sup>He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



プラスチックシンチレータ



シンチレーションファイバー



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/>

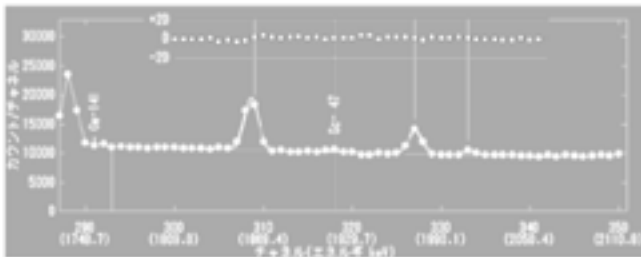
お問合せ [yasuo.watanabe@saint-gobain.com](mailto:yasuo.watanabe@saint-gobain.com)

(担当 渡辺)

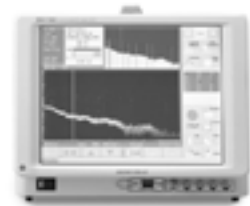
## 比較法による放射化分析プログラム

比較法による放射化分析とは、分析対象元素の量（濃度等）が既知の「標準試料」のピーク分析結果と、未知の「サンプル」のピーク分析結果を比較することで、未知の「サンプル」中の分析対象元素の量を計算するものです。

- ◇ 当社標準プログラム「γスタジオ」に比較法による放射化分析の機能をプラス
- ◇ 武蔵工業大学エネルギー基礎工学科・原子力研究所鈴木博士のご協力を得て、最も汎用性の高い仕様を実現
- ◇ 「核種データの編集」→「標準試料データの編集」→「標準試料スペクトルの解析」→「未知試料の解析」と従来の手続き同様に作業可能
- ◇ 複雑なスペクトル解析に威力を発揮…γスタジオの基本機能であるインタラクティブピーク分析結果を「標準試料スペクトルの解析」「未知試料の解析」にフィードバック可能
- ◇ 添付核種データ（核反応テーブル）は鈴木博士作成による「GAMA98」から引用
- ◇ Windows Xp pro(SP2以上) / 2000 (SP4以上) / Vista business環境で動作



DSP 技術採用▶  
最新型 MCA  
7600



◀ピーク分析画面例



**セイコー・イージーアンドジー株式会社**

東京都中央区八丁堀2-26-9 グランデビル6F 〒104-0032 電話番号: 03-5542-3104

http://www.sii.co.jp/segg/ e-mail: info.segg@sii.co.jp

大阪 (TEL) 06-6871-8494 水戸 (TEL) 029-227-4474 札幌 (TEL) 011-552-2558

# WISSOFT | 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】

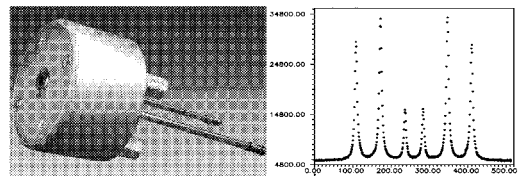
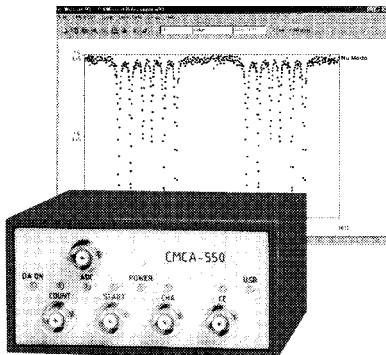
入力: COUNT, START, CHA,  
COUNT ENABLE,  
ADC (CMCA-550のみ)

### 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適合
- 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持
- ガスフローを維持すれば、長期の測定に適合
- 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

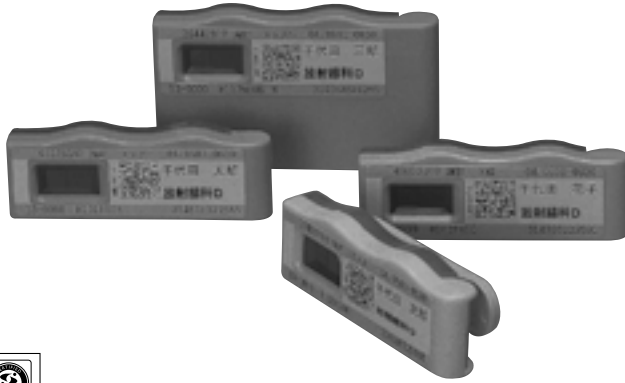


次世代の個人・環境用線量計

# ガラスバッジ

**ガラスバッジ。それは革新への転換。**

ガラスバッジはフィルムバッジを上回る性能と機能を有し、「より正確」で「より早く」そして「より使い易い」モニタリングサービスを実現しました。



**TECHNOL**  
CHIYODA TECHNOL CORPORATION

株式会社 **千代田テクノル** 営業部

〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル  
TEL03(3816)1163  
www.c-technol.co.jp

**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・アインス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
- 避難設計
- 安全評価
- RI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

**TNS 東京 千代田 株式会社**

東京本社：東京都台東区台東 1-3-5 (反町ビル 7F) 〒110-0016 TEL.03 (3831) 7957  
 東海営業所：茨城県那珂郡東海村村松字平原 3129-31 〒319-1112 TEL.029 (282) 3114  
 つくばセンター：茨城県つくば市緑ヶ原 4-19-2 〒300-2646 TEL.029 (847) 5521  
 大阪事業所：大阪市中央区内本町 1-2-5 (YSK ビル 5F) 〒540-0026 TEL.06 (4792) 3111  
 六ヶ所事業所：青森県上北郡六ヶ所村大字尾駈宇野附 1-4 〒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 大阪市西区新町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



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 7-8-13 ( 栗原ビル3F ) Tel.03-3367-3281 Fax.03-3367-5934  
 技術開発研究所 : 〒342-0008 埼玉県吉川市旭 8 番 3 Tel.048-991-9461 Fax.048-991-9460  
 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.0240-32-6017 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.06-6251-2099

作業環境測定機関11-4(放射性物質) ISO9001:2000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

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  
R I 排水管理システム  
出入管理システム  
非密封 R I 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](mailto:fric-info@fujielectric.co.jp)

営業所

北海道	TEL 011-221-5482	東 北	TEL 022-716-0203
東 京	TEL 042-585-6024	中 部	TEL 052-746-1032
関 西	TEL 06-6455-3891	九 州	TEL 092-262-7844

# FUJIFILM

## 診断そして、治療へ。

やがて、笑顔につながる核医学。

生命の世紀とも言われる、21世紀。ライフサイエンスの医学への発展、QOLを重視した医療に対する期待は、ますます大きくなっています。

早期診断。身体に負担の少ない治療。

核医学診療はより大きな役割を担っていくと、私たちは確信しています。

富士フイルム RI ファーマは、核医学診療には欠かせない、

放射性医薬品のエキスパートとして、医療の発展に寄与してまいりました。

今後も、この分野をより積極的に推し進めるとともに、

グループの総力を結集し、医療と健康に貢献してまいります。



**富士フイルム RIファーマ株式会社**

〒104-0031 東京都中央区京橋2-14-1 兼松ビル TEL03(5250)2620  
ホームページ: <http://fri.fujifilm.co.jp>



**ADC500**

変換方式  
コンバージョンゲイン

逐次比較型 15 $\mu$ 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**



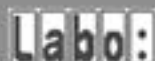
ADC 8kch  
ウィルキンソン方式 150MHz  
MCA / MCS メモリサイズ 8kch  
Windows98 ~ XP 対応ソフトウェア

**NT24-DUAL**

- マルチパラメータ MCA -  
(開電子消滅測定等に)



ADC 15 $\mu$ 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](mailto:office@radiochem.org)