

放射化学ニュース

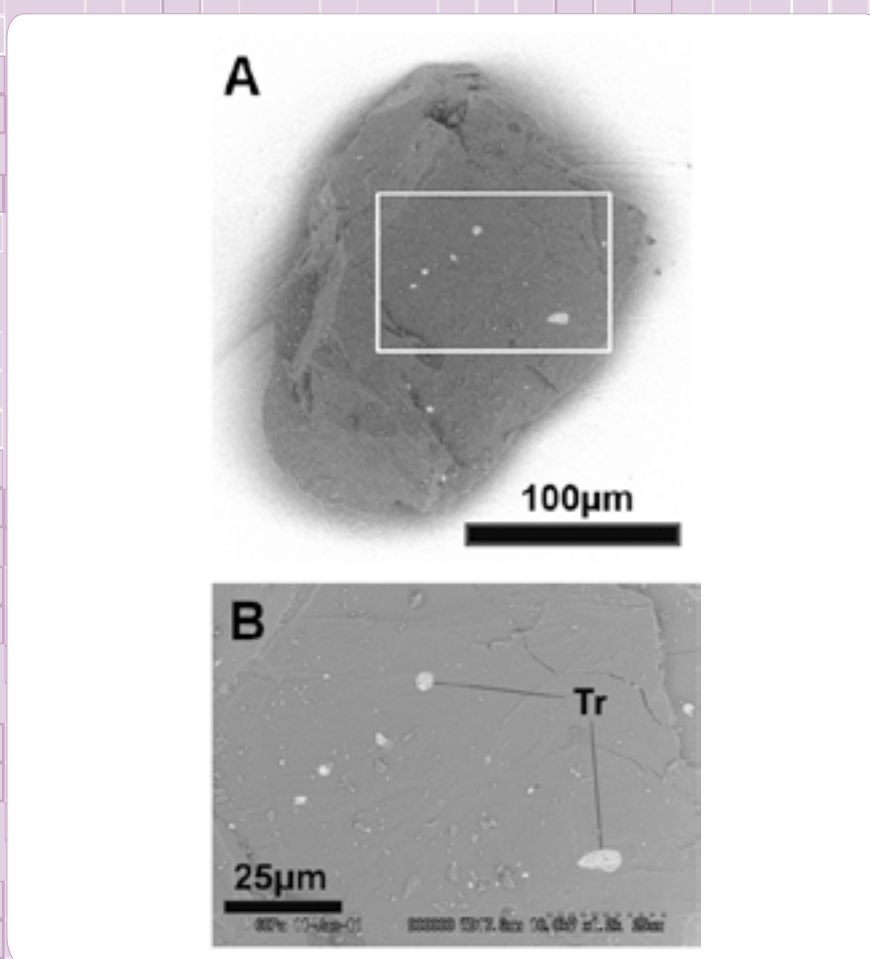
第25号

解説

はやぶさ宇宙探査機によって小惑星イトカワから回収された粒子の中性子放射化分析
個／液及び液／液界面におけるアクチノイドの電気化学

特集

福島問題・福島除染問題・被爆問題・学会の取り組み



放射化学ニュース

第 25 号

平成 24 年 (2012 年) 3 月 31 日

目次

解説

- はやぶさ宇宙探査機によって小惑星イトカワから回収された
粒子の中性子放射化分析 (海老原充) 1
- 固/液及び液/液界面におけるアクチノイドの電気化学 (北辻章浩) 9

放射化学会奨励賞

- 2011 年度放射化学会奨励賞の紹介 (高橋嘉夫) 20
- ・環境中のウラン同位体に関する研究 (坂口 綾) 21

特集

1. 福島問題
 - ・福島第一原子力発電所タービン建屋たまり水中の⁸⁹Sr および⁹⁰Sr の分析 25
浅井志保 (日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門)
岡野正紀 (日本原子力研究開発機構 再処理技術開発センター)
亀尾 裕 (日本原子力研究開発機構 バックエンド推進部門)
2. 福島除染問題
 - ・放射線グラフト重合法によるセシウム除去用吸着繊維の開発 (斎藤恭一) 29
3. 被爆問題
 - ・福島第一原子力発電所の爆発事故の影響 (高瀬つぎ子) 33
4. 学会の取り組み
 - ・福島原発事故対策プロジェクト 進捗報告 (高宮幸一) 36

特別寄稿

- 食品に対する安全基準についての一考察 (馬場 宏) 39

施設だより (震災から)

- ・ J-PARC における共同利用実験再開のお知らせ (二宮和彦・三浦太一) 47
- ・ 筑波大学タンデム加速器施設の被災状況と今後の計画 (笹 公和) 50
- ・ 原子力機構タンデム加速器 一東日本大震災の被害状況と現状— (長 明彦) 55
- ・ 東北大学電子光物理学研究センターの現状 (菊永英寿) 58

研究集会だより

海外

- 第 65 回山田コンファレンス・メスバウアー効果の応用に関する
国際会議 ICAME 2011 の概要報告 (野村貴美) 60
- 3rd INCC に参加して (宮本ユタカ) 62
- 4th International Conference on the Chemistry and Physics of the
Transactinide Elements (TAN 11) 会議報告 (笠松良崇) 64
- GLOBAL 2011 - Toward and Over the Fukushima Daiichi Accident - (深澤哲生) 66
- The 10th International Conference on Nuclear Analytical Methods in the
Life Sciences (NAMLS-10) 参加報告 (古田悦子) 68

国内

- 2011 日本放射化学会年会・第 55 回放射化学討論会の報告 (村松久和) 71
- その他、国内集会報告
京大専門研究会
KUR 専門研究会「不安定原子核の理工学と物性応用研究」報告 (久富木志郎) 74
- 2011 年度 京都大学原子炉実験所 ワークショップ「KUR の利用と新中性子源の検討」
専門研究会「有用放射性トレーサーの開発と利用」(後藤真一) 75
- 第 13 回「環境放射能」研究会 (長田直之) 76

情報プラザ (国際国内会議) 78

APSORC 準備状況 (永目論一郎) 80

学会だより 81

賛助会員リスト

広告

表紙の説明

初期分析で分析したイトカワ微粒子 RA-QD02-0049 の電子顕微鏡写真。A は試料全体の後方散乱電子像で、B は A の四角で囲んだ領域の拡大像。試料全体は橄欖石でできているが、B で示されるように微小の硫化鉄 (troilite) が付着しているのが分かる。

解 説

はやぶさ宇宙探査機によって小惑星イトカワから回収された
粒子の中性子放射化分析

海老原充 (首都大学東京大学院理工学研究科)

1. はじめに

はやぶさ宇宙探査機は2003年5月9日に鹿児島県内之浦から打ち上げられ、同年9月に小惑星25143イトカワに到着した。イトカワの周回軌道を回りながら数々の観測を行った後、11月には小惑星表面に降下し、表面物質を採取する試みをおこなった。その後、いくつかの困難を切り抜け、2010年6月にオーストラリアの砂漠に帰還した。打ち上げ時には、グラムオーダーの試料採取を見込んでいたが、当初予定していた試料回収操作が実施できず、回収量ゼロも覚悟せざるを得ない状況であった。回収されたカプセル内を神奈川県相模原市の宇宙航空研究開発機構(JAXA)・宇宙科学研究所(ISAS)に搬送され、同研究所内の「惑星物質試料受け入れ施設」において詳細に調べたところ、地球外起源と思われる粒子が1500以上見つかった。試料のサイズや量は当初の見込みと大きく異なり、粒子の大きさはほとんどが100 mm以下で、総質量も数10 mg程度であった。はやぶさ探査機の打ち上げ前から、回収された試料を分析する体制が検討され、客観的な評価の後、初期分析チームが結成された。本稿ではこの初期分析の一環として行われた中性子放射化分析の状況とその結果を述べたものである。本研究を含めて、一連の初期分析の結果は2011年3月米国ヒューストンで開催された月惑星科学会議の特別セッションで口頭発表された。また、その内容の中から本稿で紹介する中性子放射化分析の研究結果を含めて6つの研究内容が、同年8月26日号のScience誌上に論文として報告された¹⁾。なお、この初期分析は2012年度2月から開始された国際公募研究²⁾に対して基礎的なデータを提供することも目的として実施されたものであり、初期分析の詳細な結果はJAXAのホームページ上で公開されている。

2. 初期分析としての中性子放射化分析

はやぶさ回収試料の初期分析に関してはJAXAに統合される前のISAS内で1998年以前から議論が開始され、米国宇宙航空局(NASA)の協力のもとで完全な公募、およびpeer review制で行うことが決められた。第1回目の公募は1998年に開始された。peer reviewは2段階で行われた。まず、初期分析の手法、適用可能性(feasibility)、期待される結果について、英文で申請書の提出が求められ、国内外の複数の査読者による査読結果に基づいて、一次審査結果が公表された。二次審査は実際に試料を分析し、その結果に基づいて行われるもので、一次審査通過者に対して、2種類の粉末試料が配布された。後に分かったことであるが、試料は2つとも隕石の粉末試料で、うち1試料は国立極地研究所に保管されていた南極隕石(国立極地研究所が南極大陸で回収し、保管している隕石)をテキサス州ヒューストンにあるNASAジョンソン宇宙センターで粉末に調整し、各申請者に送られた。送られてきた試料を一次審査のために書面で提出した方法に従って分析し、その結果を論文形式の英文の報告書としてISASに提出した。この報告を査読し、その結果をもとに最終的な初期分析担当者が選定された。この初期分析参加の公募は2回行われた。透明な選考過程からなるこの制度は画期的なものであったが、残念ながら途中から色々な“力”が加わり、一時は破綻しかけた。しかし、最終的に初期分析チームとして参加した研究者は、結果としてほとんどの人が何らかの形でこの選考を経た人たちであった。なお、中性子放射化分析を用いる初期分析に関する報告書は論文として公表されている³⁾。

我々が目指した初期分析の目的は、中性子放射化分析法を用いてイトカワから回収された微小粒

子の元素組成を正確に求め、そのデータを用いて微粒子の特徴を明らかにすることである。本研究では中性子放射化分析法を用いたが、初期分析として元素組成を求める方法としては、これ以外に蛍光X線分析、二次イオン質量分析、希ガス質量分析が用いられた。前2つの方法は表面分析法であり、中性子放射化分析法は全試料分析である点が大なる相違点であり、また、後で述べるように、表面分析では得られない大きな成果が得られた。中性子放射化分析法の概略は以下の通りである。中性子を試料に照射して中性子捕獲反応を起こし、安定な原子核を不安定な放射性核種に変換する。生じた不安定原子核が安定原子核に変化する（壊変する）ときに余分なエネルギーを外部に放出する。この時放出されるガンマ線を測定して、そのエネルギーからもとの安定原子核の種類を、ガンマ線の放出頻度から原子核の量を求める。中性子放射化分析の原理を添付の図1に示す。中性子放射化分析の最大の特徴は分析に用いる中性子とシグナルとしてとりだすガンマ線がともに物質への透過能が高く、試料表面ばかりでなく、試料全体の組成を求めることができることである。また、試料を破壊することなく複数の重要な元素を高感度に定量できることもこの方法の大きな利点である。

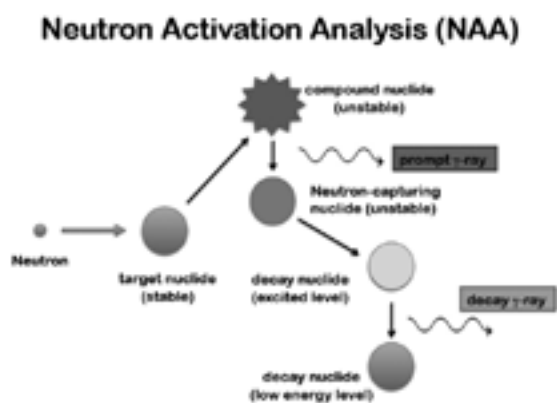


図1 中性子放射化分析の原理

3. イトカワ微粒子の中性子放射化分析

国内で中性子放射化分析に利用できる研究用原子炉は、2011年3月11日までは日本原子力研究開発機構（JAEA）原子力科学研究所（東

海）のJRR-3, JRR-4、および京都大学原子炉実験所（KURRI）のKURに限られた。イトカワ微粒子の分析は同年2月に行われたが、その時点ではJAEAの原子炉は定期点検中で、運転を休止していた。その為もあり、イトカワ試料の初期分析にはKURRIの原子炉を利用した。実試料の分析に先立って2011年2月2日（水）から4日（金）にかけて、同様の微小試料を用いて、予備実験を行った。用いた試料は反射スペクトル分析からイトカワと類似すると考えられた隕石 Kilabo 隕石から調整した微小粒子と宇宙塵試料を用いた。予備実験では実際の定量分析と言うよりも、微小試料の取り扱い、具体的には照射前の試料の照射容器への格納と照射後の照射容器からの試料の取り出し・移し替えのリハーサルを目的とした。

初期分析で利用する試料は最小に抑える必要があり、同一試料をなるべく多くの分析手法で調べることが望まれた。そこで、最少の試料量（数）で最大の情報量が得られる様に、初期分析チームで議論を重ね、はやぶさ探査機が地球に帰還する前に図2に示す一連の分析スキームを完成させた。当初の計画では回収試料の総量をグラムオーダーと想定していたので、これほどまでに同一試料を“使い回す”ような分析操作は考えておらず、中性子放射化分析を用いた初期分析計画では、図3に示すようないくつかの放射化分析法を組み合わせ、なるべく多くの元素についての含有量を求める計画を立てた⁴⁾。この分析スキームでは、先ず即発γ線分析（PGA）を行って主成分化学組成を求めた後、その一部の試料を用いて機器中性子放射化分析や機器光量子放射化分析を行い、さらにその後放射化学的分離手法を組み合わせ放射化分析や誘導結合プラズマ質量分析（ICP-MS）を実施することを予定した。今回、はやぶさが持ち帰った試料量は当初想定していた量の100万分の1程度で、図3の分析スキームは無論適用できず、結果として図2のような分析操作に大幅に修正することになった。

今回放射化分析を行った試料に対しては、図2で示されるように、事前に九州大学でラマン分光と赤外吸収分光を行った後、有機物測定のためにアルコールで有機物抽出を行った。ラマン分光等に用いた粒子は5粒であったが、そのうちの最も大

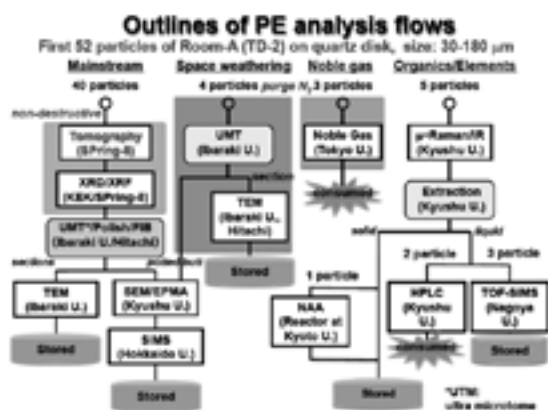


図2 微量を想定して策定した初期分析スキームの一部（中性子放射化分析を含むスキーム）

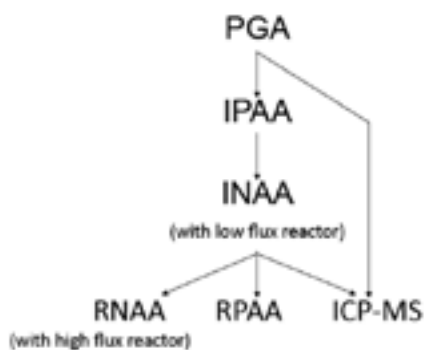


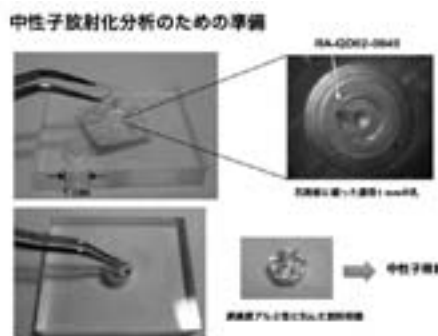
図3 当初予想された試料回収に対して提案した放射化分析中心の分析スキーム

きな1粒子を放射化分析に用いた。実験の手順を添付の図4に示す。分析した粒子はRA-QD02-0049と名付けられたもので、電子顕微鏡による写真を図5に示す。この粒子はやぶさ試料カプセル内のA室から回収されたもので、約1500個のイトカワ由来の微粒子のなかで大きさとしては最大級の粒子の一つである。2011年2月7日（月）に、九州大学においてこのイトカワ微粒子を中性子照射に用いる石英製のホルダーに格納し、高純度アルミニウムで包装し、新幹線を利用して大阪府熊取町にあるKURRIに移送した。この石英製ホルダーに格納する際、試料を一時見失うというハプニングがあり、朝からお昼過ぎまでの約4時間にわたる搜索の後に無事発見し、照射用石英ホルダーに収容したときには極度の緊張から解放され、一種の放心状態であった。この筆舌に尽くしがたい経験を翌々日もう一度味わうことになる

は思いもよらず、KURRIの関本俊助教とともに、喜びのうちに新幹線の人となった。

中性子照射は2月8日（火）から9日（水）に掛けて、KURのハイドロ照射孔で19時間中性子を照射した。2月9日（水）正午前照射を終了し、数時間冷却の後、試料の取り出しを行った。アルミ箔で包んだ石英ホルダーをシャーレ（ペトリ皿）にとり、試料が静電気で飛散ないようにアルコールを滴下し、注意深くアルミ箔を開いた。その後に石英製の蓋（カバー）をそっと外し、顕微鏡下で試料を確認しようとしたところ、前述のごとく、悪夢再来、再度試料を見失ってしまった。この時も約4時間の搜索の後、試料回収に成功した。驚いたことに、当初1粒であった試料が5粒に分解していた。鉱物学を専門とする初期分析チームのメンバーによれば、イトカワ回収試料には弱い力で形状を崩すものが珍しくなく、見かけは1粒子に見えるものの、層状に弱くくっついて

(照射前)



(照射後)

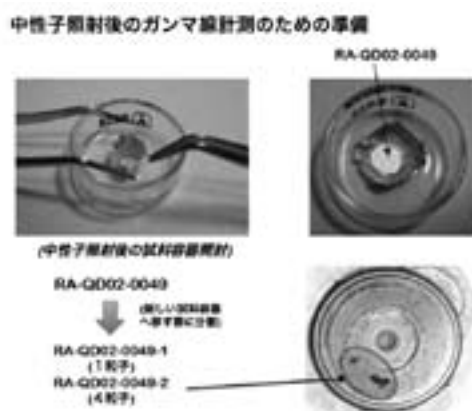


図4 初期分析で実施した中性子放射化分析の操作手順

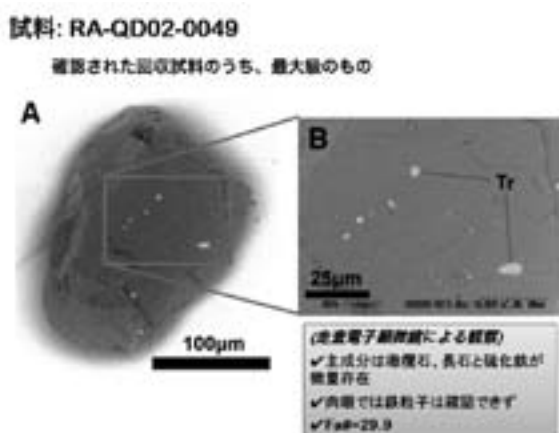


図5 初期分析で分析したイトカワ微粒子 RA-QD02-0049 の電子顕微鏡写真

粒に分解したうちで1粒が元のほぼ半分の大さで、これを RA-QD02-0049-1 とし、残りの4粒は大体似たようなサイズの小粒子となったが、あわせて RA-QD02-0049-2 と名付けた。結果から言えば、こうして2つの試料に分割できたことは、後の分析結果を解釈する上で非常に好都合になった。とにかく、再度の大格闘の後に試料を新しいホルダーに移し替え、KUR の通称ホットラボ内の測定室にあるゲルマニウム半導体検出器を用いてガンマ線測定を開始した。一時は、試料の搜索・回収の為に徹夜も覚悟したが、何とか新大阪からの東京行き新幹線の最終に間に合い、後の測定を KURRI の関本俊氏に託し、無事帰宅することができた。

4. イトカワ微粒子の元素組成

中性子照射後の試料の γ 線測定は照射終了日(2月9日)から3月1日まで関本さんの責任のもと、KURRI で継続的に実施した。続いて、金沢大学低レベル放射能実験施設の尾小屋測定室で γ 線計測を実施することを計画し、3月2日に関本さんと共に陸路、鉄道によって試料を搬送した。(初期分析段階では、イトカワ試料の移送は2名で行い、空路は利用しないというルールが敷かれていた。) KURRI から照射試料を搬出するにあたっては文科省も含めて関係する機関に事前に確認をとり、最終的には KURRI の放射線取り扱い主任者の判断によって可能となった。放射化物とは言うものの、微量な試料の為に残留放射能は自然バツ

クグラウンドレベル以下であり、平成12年に出された科技庁告示第五号(後の平成18年、最終改正として出された文科省告示百五十四号)の別表第一に掲載されている放射性核種の数量を大きく下回るものであった。尾小屋での γ 線測定は4月初めまで行われ、4月5日に金沢大の浜島さんと KURRI の関本さんによって尾小屋から再度 KURRI に試料が搬送された。その後約一ヶ月間 KURRI で測定が継続され、5月11日に ISAS に試料を返還して、粒子 RA-QD02-0049 に関する初期分析は終了することになった。

ガンマ線測定スペクトルの一例を図6に示す。このスペクトルからクロム、ニッケル、スカンジウム、鉄、コバルト、イリジウムが定量できた。最終的に2つの試料(RA-QD02-0049-1、RA-QD02-0049-2)に対して、ナトリウム、スカンジウム、クロム、鉄、コバルト、ニッケル、亜鉛、イリジウムの8元素を定量することができた。定量値を求めるために比較標準試料として Allende 隕石粉末(米国スミソニアン博物館で調整された試料)と玄武岩 JB-1(日本地質調査所で調整された試料)、および高純度鉄(細粒)を合成石英管に封入し、イトカワ試料と同じ条件で照射し、 γ 線測定を行った。放射線強度が異なる場合は測定位置を変えて、測定器の不感時間を一定値以下にするようにした。測定試料間での試料と測定器の幾何学的位置関係の違いに起因する検出効率の違いは標準試料を測定することにより、補正した。本研究で分析した粒子(図5)に

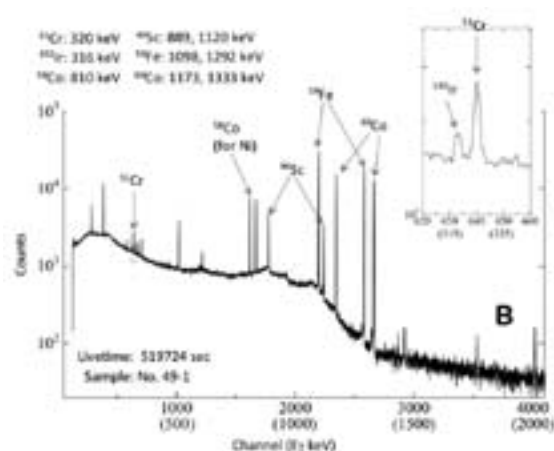


図6 中性子照射後のイトカワ微粒子 RA-QD02-0049 の γ 線スペクトル

表1 はやぶさ微粒子 RA-QD02-0049 の中性子放射化分析の結果

	Hayabusa		地球の大陸 地殻 ^a	普通コンドライト中の 橄欖石 ^b
	No. 49-1	No. 49-2		
Na (ng)	2.14 ± 0.07	1.56 ± 0.08		
Sc (ng)	0.0039 ± 0.0001	0.0040 ± 0.0001		
Cr (ng)	0.061 ± 0.003	0.076 ± 0.002		
Fe (ng)	347 ± 6	350 ± 6		
Co (ng)	0.29 ± 0.01	0.23 ± 0.01		
Ni (ng)	6.65 ± 0.16	5.33 ± 0.15		
Zn (ng)	0.07 ± 0.02	0.067 ± 0.017		
Ir (pg)	0.031 ± 0.007	0.037 ± 0.012		
Estimated mass (μg)	1.66	1.68		
Na (ppm)	1290 ± 45	929 ± 48	24300	
Sc (ppm)	2.35 ± 0.06	2.41 ± 0.08	14.0	2.1 - 8.7
Cr (ppm)	36.8 ± 1.8	45.3 ± 1.2	92	160 - 600
Fe (%)	20.9 ± 0.4	20.9 ± 0.4	3.92	14.17 - 20.79
Co (ppm)	176 ± 3	139 ± 3	17.3	7 - 47
Ni (%)	0.40 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.0047	0.010 - 0.029
Zn (ppm)	45 ± 11	40 ± 10	67	19 - 20
Ir (ppb)	19 ± 4	22 ± 7	0.022	
Ni/Co	23 ± 1	23 ± 1	2.7	5.5 - 14.3
Fe/Sc	89000 ± 2830	86500 ± 3300	2800	24000 - 87000

^aRudnick and Gao (2003).

^bThe range for olivine in ordinary chondrite (Mason and Graham, 1970; Allen and Mason, 1973; Rubin, 1990).

対しては、中性子放射化分析に先立って、エネルギー分散型走査電子顕微鏡 (SEM-EDX) による分析が行われており、この表面分析の結果からはほぼ純粋な橄欖石であることが分かっていた。この分析によって得られた鉄とマグネシウムの元素比と INAA で得られた鉄の定量値 (質量) から RA-QD02-0049-1 と RA-QD02-0049-2 の 2 試料の質量を計算することが可能で、それぞれ 1.6, 1.5 mg と求められた。直接測定することはしなかったが、同一試料中のが東北大の中村らによって求められ、RA-QD02-0049 としては約 3.2 マイクログラムと求められた。表 1 は 2 つの試料に対する元素含有量、および元素濃度をまとめたものである。数値に伴う不確かさは γ 線スペクトロメトリにおける計数誤差で、1s の値を示す。表 1 から明らかのように、2 つの試料間で元素濃度の違いは認められず、少なくとも定量できた 8 つの元素に関しては RA-QD02-0049-1 の粒子中に均一に存在していることが明らかになった。それと共に、中性子照射後に一時見失うというアクシデントを経て回収された複数の微粒子に不純物が混入していなかったこと、分析過程に大きな誤りが無かったこ

とを間接的に支持する結果となり、照射前の粒子の形状が失われたことに対する充分過ぎる埋め合わせがあったものと考えている。

5. イトカワ微粒子の元素組成が意味すること

元素組成をもとに、宇宙化学的考察を試みた。図 7 はイトカワ微粒子試料 (RA-QD02-0049-1 と RA-QD02-0049-2) の鉄とスカンジウムの含有値を地球の岩石、火星から飛来したと考えられる隕石、地球への落下頻度の高いコンドライト隕石等の値と比較した図である。地球のように金属核を持つ惑星では鉄はかなり中心核に分配されているが、スカンジウムのような親石性元素はほぼすべてマントルや地殻中に存在する。一方、コンドライト質隕石の母天体ではその様なケイ酸塩と金属鉄の分化が起こっていないために、鉄とスカンジウムの存在比は太陽系の起源物質の値に近い値をもつ。従って、地球を代表とするような、中心に金属核をもつような分化した天体では、そのケイ酸塩試料中の Fe/Sc 比はコンドライト隕石の値よりも小さい。図 7 で示されるように、火星由来の隕石 (火星隕石) も同様の傾向を示す。すでに

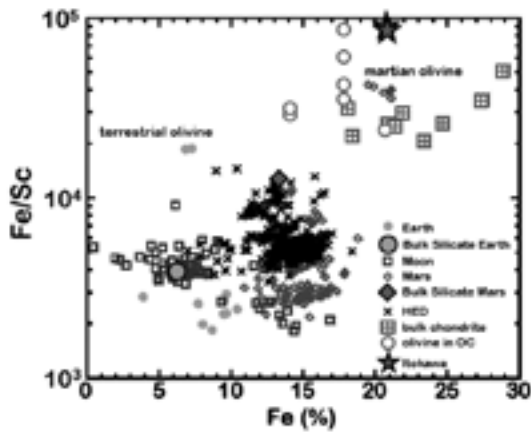


図7 イトカワ微粒子 RA-QD02-0049 を含むいくつかの地球外物質と地球物質中の鉄とスカンジウムの含有値の比較

述べたとおり、本研究で分析したイトカワ回収粒子は大部分橄欖石で構成されているが、この試料の Fe/Sc 比は地球や火星の橄欖石の値よりも大きく、普通コンドライト質隕石から分離した橄欖石の値に似ていることがわかった。このことから、今回分析した微粒子は地球物質ではなく、地球外物質であることがわかり、はやぶさ探査衛星が小惑星イトカワから試料を回収して地球に帰還したことが明らかとなった。また、その組成がコンドライトと同様の組成であり、小惑星イトカワは始原的コンドライト隕石と同様の化学組成を持つことがわかった。

今回分析した試料では鉄に加えて、コバルト、ニッケル、イリジウム等金属に入りやすい元素(親鉄性元素)の含有量が地球の表層物質に比べて非常に高いことがわかった。図8は、本研究で分析したイトカワ試料のニッケルとコバルトの含有量を、いくつかの異なる種類の隕石試料やその構成物、および地球の地殻物質や分化した小惑星のケイ酸塩試料の値と共に示したものである。図中の直線は太陽系の元素組成を与える隕石として知られる CI コンドライト隕石中でのニッケルとコバルト比を示すもので、未分化隕石(コンドライト質隕石)や鉄隕石の両元素比はすべてこの直線上にプロットされる。図から明らかなように、イトカワ試料は2試料ともこの線上にのることがわかった。分化した隕石(小惑星由来の隕石)のケイ酸塩や地球の地殻物質ではニッケルとコバルトの間で元素間の分別を起こしており、CI コン

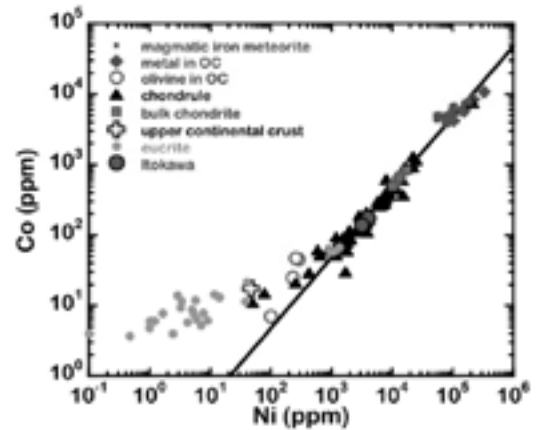


図8 イトカワ微粒子 RA-QD02-0049 を含むいくつかの地球外物質と地球の地殻物質中のニッケルとコバルトの含有量の関係

ドライト直線の上には載らない。図8から、本研究で分析した試料は未分化隕石物質であり、かつ、コンドライト質隕石から分離した球粒試料(コンドラール)と非常に似た組成を持つことが分かった。このコンドラールはコンドライト質隕石のなかでも岩石学分類で3に属する、より分化の程度の低い隕石から分離されたものであることから、分析したイトカワ試料はそのようなより未分化なコンドライト質隕石を構成する物質と同様の特徴をもつことが分かった。

分析したイトカワ試料にはコバルトやニッケルに加えて、イリジウムも定量できた。その含有量は約30フェムトグラム(30×10^{-15} g)で、この元素に関して中性子放射化分析の分析感度が非常に高いことが分かる。イリジウムはニッケルやコバルトに比べてより親鉄性が高く、ケイ酸塩からの金属相への分配係数が非常に大きい。従って、地球のように一度熔融して金属とケイ酸塩が分離した天体ではほとんどが金属コアに濃集される。一方、前述の通り、コンドライト質隕石母天体ではその様な熔融・分化過程が起こらなかったため、同隕石中では親鉄性元素と親石性元素間にほとんど分別がない。図8で示されるように、今回分析したイトカワ試料は明らかにコンドライト質隕石と同様の物質であり、ニッケル、コバルト間では分別が見られなかった。ところがこの試料のコバルト、ニッケル、イリジウムの元素組成を詳細に調べると、Ir/Ni比、Ir/Co比がコンドライト隕石の持つ値よりも約5倍小さいことが分かっ

た(図9)。図9で示されるように、これら3元素間の分別はより未分化なコンドライト質隕石中のコンドルール試料でも確認されており、図8で示した事実と整合する。コバルト、ニッケル、イリジウムは親鉄元素として共通するものの、凝縮温度は互いにことなり、イリジウム(1610)、ニッケル(1354)、コバルト(1351)の順に凝縮温度が小さくなる(括弧内は太陽系の元素組成をもつ 10^{-4} 気圧の気体から各元素が50%固体に凝縮する絶対温度)。一度固体に凝縮すれば、コンドライト隕石間ではこれら3元素間で分別が起こることはないと考えられるので、イリジウム、ニッケル、コバルトの3元素間で分別が起こる可能性としては太陽系生成最初期に起こった元素の凝縮過程(図5)以外には考えにくい。このことから、このイトカワ粒子は太陽系最初期に起こった元素の分別過程を保存したまま、現在にいたったものであることが分かった。

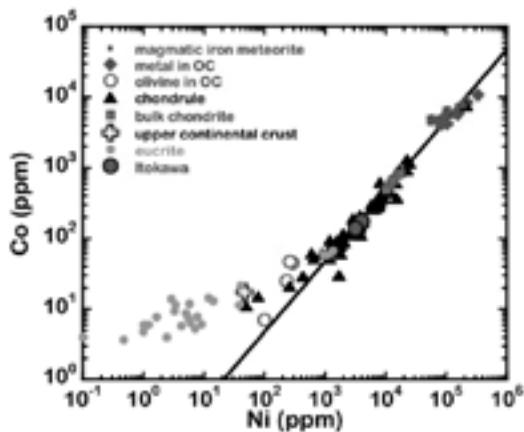


図9 イトカワ微粒子 RA-QD02-0049、コンドライト質隕石全岩、およびコンドルール、金属で見られる Ir/Ni 比と Ir/Co 比の関係

6. ヒューストンでの発表、そして震災

2011年3月7日から11日まで、テキサス州ヒューストン近郊のウッドランズ(Woodlands)で第42回月惑星科学会議が開催された。この会議はアポロ宇宙船が月から試料を回収して地球に持ち帰った翌年の1970年に第1回が開催され、それ以来、毎年開催されている惑星科学の最も重要な研究集会である。この会議の4日目の3月10日の午前にはやぶさセッションが生まれ、初

期分析の結果がまとめて発表された。この発表にあたって、1月4日締切で発表要旨を提出したものの、その段階では初期分析は始まっておらず、初期分析が始まればこういう結果が得られるかも知れないという内容で紙面を埋めざるを得なかった。その様な要旨にも関わらず、口頭発表による特別セッションが組まれた。しかしながら、初期分析をはじめるとにあたって、まずはリハーサルを行い、直後の本番では種々のハプニングが起こり、一時は講演取りやめの連絡をしなければいけないと冷や汗混じりに本気で考えたこともあった。土壇場で何とか最悪の事態は免れ、無事に照射が終わり、測定データが出たので、当初の予定通り、会議に参加した。とはいうものの、データの解釈は全くできていないままに会議に乗り込むという、やはりこれまで経験したことの無い状況は続いていた。インターネット経由でKURRIの関本さんから送ってもらった最新のデータをもとに、会場の片隅で、同僚の白井直樹さんと発表の直前まで議論を重ねて導き出したのが、上に述べた「イトカワ微粒子の元素組成が意味すること」で述べたストーリーである。3月10日の発表が無事終わって、休憩時間になったときに、何人もの人から高い評価の言葉をもらった。少なからぬ数の日本人も参加していたものの、そうした賛辞はほとんど日本人以外からであったのが印象的であった。発表まで、「一粒子測って、何が分かるの」と思っていた同僚も少なくなかったのではないかと想像していたが、「一粒でも、随分色々なことがわかるんだね。」という言葉は残念ながら聞かれなかった。白井さんは入試業務のために発表の場には居合わせることができず、発表の終わった日の晩、一人で祝杯を挙げ、とりあえず重い荷を少しだけ降ろすことができた。

発表の翌日(3月11日)、もう一日会議の日程が残っていたが、国内で開催される大事な会議に出席するために帰国の途についた。ヒューストン空港からアトランタ経由で成田に向かう予定で、アトランタ空港に着いたとき、空港ロビー内のテレビニュースで東日本大地震のニュースが報じられていて、ことの重大さを知ることになった。その時点で原子力発電所のこともすでに大きく取り上げられていたのが印象的で、帰国後の日本での

報道内容とのギャップに違和感を感じた。今考えると、アメリカでは初期の段階で的確に状況を判断し、かつ、ニュース報道していたわけで、日米両国間での危機意識に大きな違いがあったことを思い知らされる。原子力発電所の事故が深刻さを増す中、3月16日早朝に、再度米国ヒューストンに飛んだ。テキサス州カレッジステーションのテキサス A&M 大学で開催された第13回「放射化分析の最近の動向」国際会議に出席するためである。会議場で多くの参加者から日本の状況を聞かれ、また、暖かい言葉を沢山頂いた。この滞米中、日本で何が起きているかが心配で、不安な毎日を経過す中で、当時会長をしていた日本地球化学会の会員にメールと学会のホームページを通じて、原子力発電所事故由来の放射性核種の拡散調査・測定に対してボランティア活動による参加を呼びかけることになった。21日の早朝に帰国したが、この後、放射化学会や日本地球惑星科学連合の大気化学関連の研究者と連携しながら、文科省に災害特別研究の科研費を申請し(3月31日)、さらには理論物理の方々と一緒に、総合科学技術会議による戦略推進費を受けての福島県内放射性核種土壌濃度調査(6月4日開始)とマップの作成(8月末)に突き進むことになった。

イトカワ微粒子の分析結果に関しては、月惑星科学会議での発表後、初期分析チームで Science に論文を投稿することを決め、5月2日に投稿した。6月25日に査読結果が戻り、minor revision をして7月23日に再投稿し、8月2日に受理の返事を受け取った。この間、上記の福島原子力発電所事故関連の活動と完全に重なり、今思えばこの間もかなり際どい日々を送ったが、白井、関本という若い同僚の援護もあり、何とか乗り越えることができ、8月26日の論文発表に至った¹⁾。発表記者会見は JAXA 本部と東北大理学部で同時に行ったが、少しでも震災復興に寄与できれば

との思いから、初期分析のチームは東北大に集結した。この記者会見と Science 誌の発行で、2月7日に始まったイトカワ微粒子との格闘にひとまず終止符を打つことができた。2011年は筆者にとって還暦の年でもあり、誕生日(6月27日)はイトカワ微粒子の結果の論文作成と原子力発電所事故による放射性核種土壌濃度マップ作成の最中であった。2011年は間違いなく、これまでの60年で最も忙しい年であり、今後、もう二度と同じようなことが繰り返されないことを期待するが、起こったとしてもとても対応できないだろうと思うと、今となってはとても感慨深いものがある。

参考文献

1. M. Ebihara, S. Sekimoto, N. Shirai, 他 (2011). Neutron activation analysis of a particle returned from asteroid Itokawa. *Science*, 333, 1119-1121 (2011). この号にはこの論文の他、以下の5報の論文が掲載されている: T. Nakamura et al., 333, 1113-1116; H. Yurimoto et al., 333, 1116-1119; T. Noguchi, 333, 1121-1125, A. Tsuchiyama et al., 333, 1125-1128; K. Nagao et al., 333, 1128-1131.
2. http://www.jspec.jaxa.jp/activity/hayabusa_ao/index-j.html
3. M. Ebihara and Y. Oura (2003). Non-destructive analysis of unknown samples named 1G and 2G by using nuclear analytical methods. *ISAS Report SP No. 16*, 9-17 (2003)
4. M. Ebihara and Y. Oura (2001). Applicability of prompt gamma-ray analysis to the initial analysis of the extraterrestrial materials for chemical composition. *Earth Planet. Sc.* 53, 1039-1045 (2001).

解説

固／液及び液／液界面におけるアクチノイドの電気化学

北辻章浩（日本原子力研究開発機構）

1. はじめに

電気化学は、電気現象と物質の化学変化の関係を研究する化学の一分野であり、電子やイオンが関与する化学変化あるいは化学現象を研究対象とする。アクチノイドのうち、特にウラン、ネプツニウム及びプルトニウムは、酸性溶液中で比較的安定に3価から6価までの原子価をとる [1] (図1参照)。また、5価より大きな原子価のイオンは、酸素が結合したジオキソイオンの化学形を取るため、その酸化還元は電子授受だけではなく化学反応を伴う複雑なものであることが、電気化学の視点からは一層興味深い。これらイオンの化学的性質は単なる原子価による違いだけでなく、水和イオンとジオキソイオンという化学形の違いもあり、その溶液内挙動をさらに多彩にしている。

電気化学には、この様な固体電極上でのイオンの酸化還元を対象とした固／液界面での反応の他に、水と有機溶媒のような混じりあわない二つの溶液相界面でのイオンや電子の相間移動という化学変化を対象とする分野もある。詳細は後述するが、二つの溶液相間に外部から電圧を与えると、電気的なエネルギーによりイオンが一方の溶液相から他相へと移動する。イオンの移動性は、両溶

液相中でのイオンの安定性によって決まるため、イオンが移動する電位差から溶液中でのイオンの状態を知ることができる。液／液界面でのイオンの移動反応は、イオン分離に用いられる溶媒抽出や液膜透過反応の素過程でもあり、これらの分離法開発のための基礎データを得ることもできる。

原子力分野ではこの他にも、いわゆる乾式再処理法として検討されている熔融塩浴中でのアクチノイドの電解も研究されている。熔融塩浴中では、水溶液中での電極反応とは異なり、反応への水分子の関与がなく、溶媒和や酸化還元生成物も異なるなど、分離法としての実用面だけでなく溶液化学の視点からも興味深い。また、アクチノイドの環境動態の視点からは微生物などの生体や生体関連物質が介在する原子価変化の研究にも電気化学的手法が用いられている。

このようにアクチノイドイオンを対象とした電気化学的研究は幅広いが、本稿では我々が進めている固体電極によるアクチノイドの酸化還元に関する研究、水／有機相界面でのアクチノイドの移動反応に関する研究、及びその関連研究について解説する。

●最も安定、◎安定に●の状態と共存、○還元剤または酸化剤の共存下で安定、△不安定

酸化数	化学種	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
2	An ²⁺	△?									◎	△	△	△	◎	
3	An ³⁺	●	△	△	○	○	◎	●	●	●	●	●	●	●	●	●
4	An ⁴⁺		●	○	◎	◎	●	○		○						
5	AnO ₂ ⁺ *			●	△	●	◎	○								
6	AnO ₂ ²⁺				●	◎	◎	○								
7	AnO ₂ ³⁺					△	△?	△?								

* Pa (V) は例外で PaO(OH)²⁺ (又は Pa (OH)₃²⁺) として存在する。

文献 [1] より転載

図1 酸性水溶液中におけるアクチノイドの酸化数とその安定性

2. アクチノイドの固/液界面電極反応

アクチノイド (An) イオンの酸化還元に関する研究の多くは酸性溶液を対象としている [2]。U, Np 及び Pu については、1940 年代の研究初期に水和イオンである $\text{An}^{4+}/\text{An}^{3+}$ 、及びアクチニルイオンである $\text{AnO}_2^{2+}/\text{AnO}_2^+$ の酸化還元が調べられ、反応の可逆性や種々の酸溶液中での式量電位が求められている。一方、 An^{4+} と AnO_2^+ 間の酸化還元については、電気化学的に非可逆であり電解に大きな過電圧を要すること、 An^{4+} や AnO_2^+ イオンの不均化反応が酸化還元反応に介在する場合があること、等が報告されているが、系統的な研究はなく反応機構の詳細は明らかになっていない。

2.1 バルク電解法によるアクチノイドの電解還元挙動

Np は 3 価、4 価、5 価及び 6 価のいずれのイオンも酸性溶液中で比較的安定に存在するため、アクチノイドの酸化還元の反応機構を明らかにする上で扱い易い元素である。図 2 は金ディスク電極を用いて電解した Np^{4+} 及び NpO_2^+ 溶液の電解電位 (E) と電流 (i) の関係を表すサイクリックボルタモグラムである。ここで、 E は銀-塩化銀参照極 (SSE) に対する電位である。 $\text{Np}^{3+}/\text{Np}^{4+}$ 及び $\text{NpO}_2^+/\text{NpO}_2^{2+}$ の酸化還元は、明瞭な酸化還元波を与えるのに対し、 NpO_2^+ の還元電流あるいは

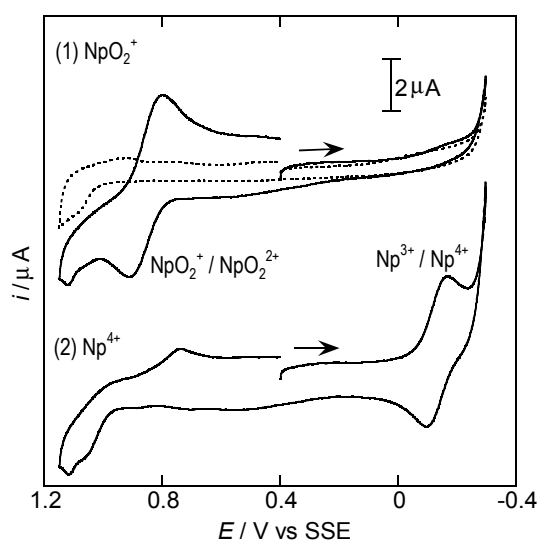


図 2 金ディスク電極による NpO_2^+ 及び Np^{4+} のサイクリックボルタモグラム

は Np^{4+} の酸化電流は観測できない。このように $\text{Np}^{4+}/\text{NpO}_2^+$ の酸化還元は電極反応速度が小さいため、通常のボルタンメトリックな手法では酸化還元電流を観測し、それを解析することは難しい。これに対し、表面積の大きな電極を用いて試料溶液中の目的イオンをすべて電解するバルク電解法は、電解にある程度長い時間を要するものの、このような電極反応速度が小さい反応についても電量測定によりその酸化還元を十分観測することができる。ここではバッチ式あるいはフロー式バルク電解におけるアクチノイドの電解挙動について解説する。

2.1.1 NpO_2^+ の電解還元機構

一般に、バルク電解セルを用いた定電位差電解において、限界電流が得られるような、酸化還元電位に対して十分な電位を印加した場合、被電解物質の濃度に比例した電解電流が流れ、電流は時間の経過とともに指数関数的に減少する。

$$i(t) = i(0)\exp(-pt) \quad (1)$$

ここで、 p は電解セルの形状に依存する固有の速度定数である。一例として金の網状電極による NpO_2^{2+} から NpO_2^+ への電解還元における電流の時間変化を図 3a に示す。

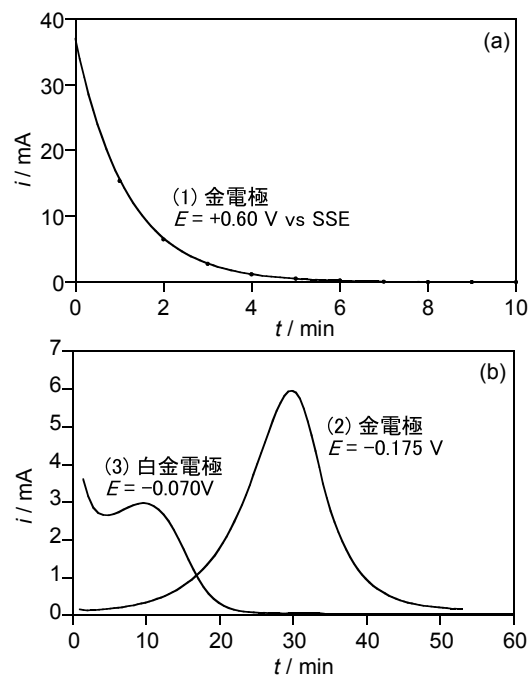
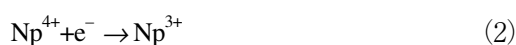


図 3 バッチ式バルク電解における (a) NpO_2^{2+} および (b) NpO_2^+ の電解電流の時間変化

これに対し、同じセルを用いて NpO_2^+ 溶液を十分な負電位（この場合 -0.175V ）を印加して電解した場合、図 3b の曲線 2 のように特異な挙動を示す [3]。電解開始直後には被電解物質である NpO_2^+ の還元起因する電解電流はほとんど観測されないが、電解を続けると次第に電流が増加する。この挙動は電解生成物が被電解物質の還元に関与していることを示唆している。先に述べたとおり金電極を用いたボルタンメトリーでは NpO_2^+ は -0.175V で電極還元されないが、 Np^{4+} は還元される。実はこの電解電流は Np^{4+} の Np^{3+} への還元電流である。



NpO_2^+ と Np^{3+} が酸性溶液中に存在すると、両者は速やかに電荷交換し、 Np^{4+} を生成する。



すなわち、この NpO_2^+ の電解還元において、 $\text{Np}^{3+}/\text{Np}^{4+}$ は、 NpO_2^+ の還元に対するメディエーターとして働き、(2) 式の電極反応と (3) 式の電荷交換反応を繰り返しながら NpO_2^+ は全て還元される。 NpO_2^+ の還元により Np^{4+} の生成が進むほど、(2) 式の電解還元電流が増す。同反応機構の模式図を図 4（左側）に示す。なお、この還元サイクルの開始には Np^{4+} が不可欠であるが、 NpO_2^+ 溶液中には次式の不均化反応により Np^{4+} と NpO_2^{2+} が微量ながら共存している。



白金電極を用いた場合には、図 3b の曲線 3 に示すとおり少し違った挙動を取る。金電極の場合

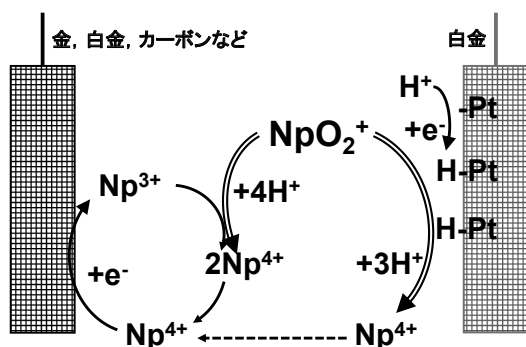


図 4 NpO_2^+ の二つの電解還元機構

と同様に凸型の電解電流曲線を示すが、特徴的なのは電解初期からある程度大きな還元電流が観測されることである。白金電極の場合、先に述べたメディエーター反応に加え、電極上への水素の吸着的還元が観測されるおよそ 0V より負電位の領域で直接的な電極反応が（反応速度が小さいものの）生じる（図 4 右側）。二つの還元機構による NpO_2^+ の還元が進むため白金電極では電解電位が金電極の場合よりも正電位であるにもかかわらず、短い電解時間で NpO_2^+ の還元が完了する。

2.1.2 カラム電極を用いるフロー電解

フロー式バルク電解法は、細い流路状電極内に試料溶液を流しながら電解する方法で、溶液が電極内を流れる間に目的イオンを全て電解できる。このようなフロー系での電解は、非可逆な酸化還元においても比較的迅速に全電解できる特徴がある。我々は、アクチノイドイオンの高精度な原子価調整法や原子価別定量法の開発を目的として、グラッシーカーボン (GC) 繊維を作用極とするカラム電極によるアクチノイドのフロー電解を調べてきた。カラム電極の構成を図 5 に示す。内径約 $10\text{mm}\phi$ の多孔質バイコールガラス製の円筒形電解隔膜内に GC 繊維を充てんし作用極とする。電解隔膜は試料溶液に対極液が混入するのを防止する。作用極、対極及び参照極を対極液槽にセットし、作用極の GC 繊維の間に試料溶液を一定流速で流しながら電解する。溶液と接する GC 繊

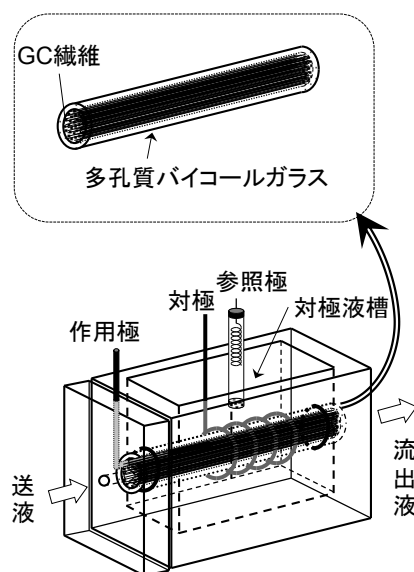


図 5 カラム電極構成図

維の表面積は極めて大きく、GC 繊維間隙の試料溶液相の厚さが拡散層より小さくなるため電解効率が非常に高く、全量電解を迅速に行える。また、試料溶液が電極内を流れる間に繰り返し電解されるため、反応速度が小さく非可逆な電極反応を示す物質であっても全電解しやすく、過電圧も小さくできる。

作用極として用いる GC 繊維は、これまで東海カーボン社製の GC-20 を用いてきたが、現在では製造中止により入手が困難となっている。多様な GC 繊維が他社から製造販売されているが、繊維径や硬さがそれぞれ異なる。また電極材として用いる時の特性にも差があるが、表面を電解処理することによりばらつきが小さくなり、電気化学的な可逆性もよくなる。カラム電極の作製法と電極処理法の詳細については既報 [4] を参照いただきたい。

アクチノイドのフロー電解挙動の一例として、1 M HClO₄ 溶液中の 3 価から 6 価の Np イオンの電解挙動 [5] を図 6 に示す。横軸は電解電位 (E)、縦軸は電解に要した電気量 (クーロン数) を測定対象イオン一個当たりの電子数 (n) に換算したものであり、このような電解電位と酸化還元反応量の関係曲線をクーロポテンシオグラムと呼ぶ。濃度 (c) の目的イオンを含む試料溶液を一定流速 (f) で流しながら電解したときに、 n 個の電

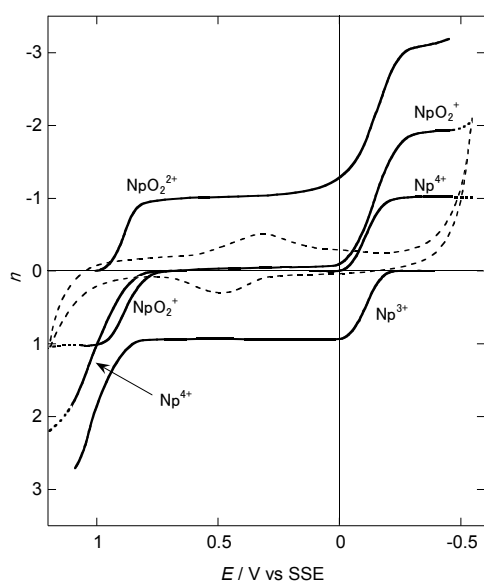


図 6 1 M HClO₄ 中の各種酸化状態の Np のクーロポテンシオグラム

子授受を伴う酸化還元がカラム電極内で完結した場合に観測される電流 (i) は次式で与えられる。

$$i = nFjc \quad (5)$$

ここで F はファラデー定数である。

Np³⁺/Np⁴⁺ 及び NpO₂⁺/NpO₂²⁺ の酸化還元は、それぞれおよそ -0.06, +0.94 V に可逆的な一電子酸化還元波を示すことが分かる。NpO₂⁺ は、-0.14V で Np³⁺ へ二電子還元される。この NpO₂⁺ の還元電位は Np⁴⁺ から Np³⁺ への還元電位とほぼ一致することから、NpO₂⁺ の二電子還元メカニズムは金電極で観測されたのと同様のメデイエーター反応による。一方、Np⁴⁺ の酸化についても、破線で示す残余電流 (バックグラウンド電流) の電位窓外にかかるため不完全ではあるものの +1.0V 付近に NpO₂²⁺ への二電子酸化波を観測できる。このように Np の非可逆な還元あるいは酸化に対しても、フロー電解法によればその電解電流を観測でき、全電解も可能となる。

2.1.3 フロー電解におけるアクチノイドの電極触媒還元

カラム電極の作用極に用いる GC 繊維は、電極作製上の取扱いの容易さ、化学的な安定性、電位窓の広さ、安価であること等利点が多い。その反面、使用状況によりカーボン表面の状態が変化し易くこれを正確に把握することが難しい、ディスク状電極で行われるような物理的な研磨が困難である、という欠点もある。先に述べたように、白金電極は NpO₂⁺ の還元に対して特異な電極触媒作用をもつ。このような電極触媒作用をカラム電極にも持たせられれば、GC 電極とは異なる反応機構による酸化還元や過電圧の大幅な低減が期待できる。

GC 繊維上に白金を電析させた白金黒付 GC (Pt/GC) 電極は、GC カラム電極に塩化白金酸溶液を通流しながら電解還元することにより作製できる。Pt/GC カラム電極による U, Np 及び Pu の酸化還元のクーロポテンシオグラムと GC カラム電極のそれ (破線) との比較を図 7 に示す。特徴的なのは、GC カラム電極では NpO₂⁺ は Np³⁺ に二電子還元されるが、Pt/GC 電極の場合、NpO₂⁺ → Np⁴⁺ → Np³⁺ と逐次還元されることである (図 7b)。NpO₂⁺ の還元電位は、およそ +0.3

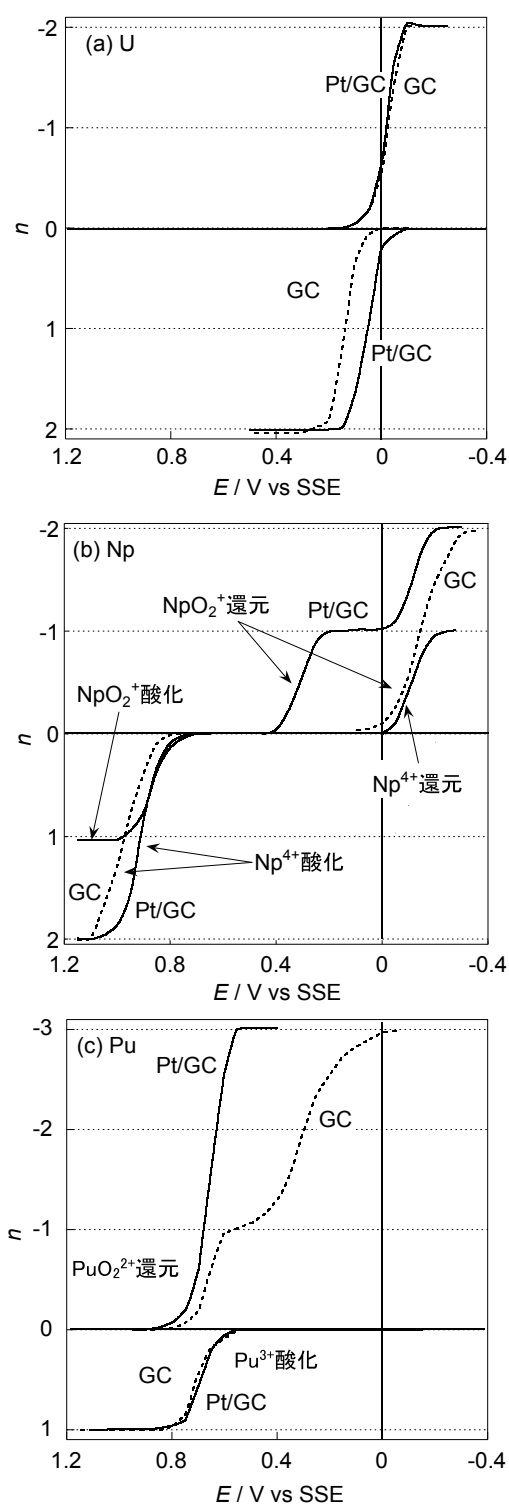
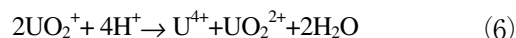


図7 Pt/GC カラム電極による U, Np 及び Pu のクロポテンショグラム

V へと大きく変化する。この NpO_2^+ から Np^{4+} への還元は Pt/GC 電極上での直接的な電極反応である。 $\text{Np}^{4+}/\text{NpO}_2^+$ の式量電位は約 +0.5 V であり、

過電圧が大幅に低減されている。GC 表面に電析された白金黒のようなナノサイズの白金粒子は、単結晶あるいは多結晶の白金に比べて非常に大きな触媒活性を有することが知られており、 NpO_2^+ の還元についても大きな電極触媒作用を示すことが分かる。

Pu の還元挙動も大きく変化する。GC カラム電極による PuO_2^{2+} の還元では、図 7c に示したように PuO_2^+ への一電子還元と、これに引き続く Pu^{3+} への可逆性の低い二電子還元の逐次還元波が観測される。一方、Pt/GC 電極を用いた場合、 PuO_2^{2+} は Pu^{3+} まで三電子一段で還元される。1 M HClO_4 中での $\text{PuO}_2^{2+}/\text{PuO}_2^+$ 及び $\text{Pu}^{4+}/\text{Pu}^{3+}$ の式量電位はほぼ等しいので、Pt/GC の電極触媒作用により PuO_2^+ 還元の過電圧が減少した結果、 PuO_2^{2+} は一挙に Pu^{3+} まで還元されることになる。これに対して UO_2^{2+} の還元の場合、Pt/GC カラム電極と GC カラム電極とは挙動の差がほとんどない。 UO_2^{2+} の還元により生成する UO_2^+ は 1M HClO_4 のような高い酸濃度の溶液中では、速やかに不均化反応し、 U^{4+} と UO_2^{2+} を生成する。



反応生成物である UO_2^{2+} は、カラム電極内を流れる間に再度電解還元されて UO_2^+ となるので、結果として全ての UO_2^{2+} が U^{4+} へ二電子還元される。電極反応自体は、可逆性の高い UO_2^{2+} から UO_2^+ への還元であるため、電極材の影響を受けにくい。

アクチノイドの酸化に関しては、 U^{4+} や Np^{4+} は 6 価へ二電子酸化されるが、Pt/GC 電極を用いた場合でも 0.1 V 程度電位が負側にシフトするのみで、大きな変化は見られない。この電位のシフトは電極表面積の増大により電解効率が向上するためだと思われる。 Pu^{4+} は、いずれの電極を用いても +1.2 V までの電位窓内に酸化電流は観測されない。

2.1.4 重アクチノイドの酸化還元

カラム電極電解法は、その迅速かつ高効率な特徴を活かして、重アクチノイド元素のシングルアトム化学の研究にも用いられている。GC をイオン交換基で修飾したカラム電極 [6] が開発され、フロー電解クロマトグフィーにより No の電解挙

動が調べられている。シングルアトムレベルの電流を観測することはできないので、Noの溶離挙動が原子価ごとに異なる性質を利用して、放射能測定から求めたNoの溶離の電解電位依存性から $\text{No}^{2+}/\text{No}^{3+}$ の酸化還元電位が求められた [7]。

2.2 選択的原子価調整法

電解によるイオンの原子価調整は、酸化剤あるいは還元剤を用いる化学法と比べて、i) 余計な試薬を加える必要がないため試料溶液に不純物等が混ざらない、ii) 印加電位を調整することにより容易かつ精密に反応を制御できる、といった得難い利点をもつ。迅速に全電解可能であり複数個の電極を連結すれば異なる電位で連続的に電解できるというカラム電極の特徴を活かせば、アクチノイドイオンの精密な原子価調整が可能となる。例えば、カラム電極を二つ連結し、種々の酸化状態のNpイオンを含む溶液を、第一段カラム電極にて -0.45 V で電解して全て Np^{3+} に還元し、第二段カラム電極にて $+0.5\text{ V}$ で酸化すれば、99%以上の純度の Np^{4+} 溶液が得られる (図6参照)。他の原子価のNp溶液の調製法は文献 [5] を参照いただきたい。さらに、Pt/GC電極を用いれば、電極触媒作用により $+0.1\text{ V}$ で電解することにより、一度の電解で Np^{4+} 溶液を調製することも可能である (図7b参照)。

3. アクチノイドの液/液界面電極反応

固体電極/溶液相界面での酸化還元反応に対し、液/液界面での電極反応では主に界面でのイオンの移動を対象とする。電解質を含む二つの溶液相間に外部から電圧を与えると、界面の両側にそれぞれ電気二重層が形成され、両相間に電位差を印加することができる。この時、例えば水相の有機相に対する電位を十分に正にしてやると水相中のカチオンが有機相に移動したり、有機相中のアニオンが水相に移動したりする (図8参照)。溶液中でのアクチノイドイオンの化学的挙動は、イオンの溶媒和 (水相中では水和) や共存する配位子との錯生成、陰イオンとのイオン対生成などにより左右される。イオンの安定性は化学ポテンシャルで表され、イオンの界面移動に要するエネルギー (界面移動ギブズエネルギー、 ΔG_{tr}) は両

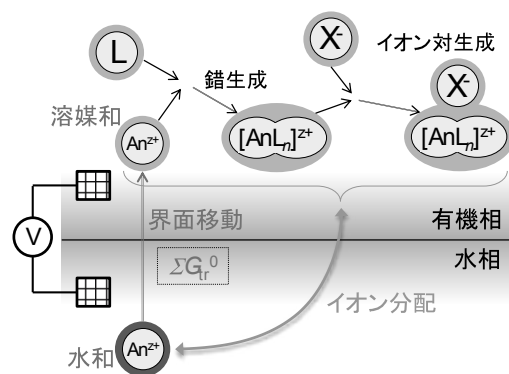


図8 液/液界面でのイオン移動反応の概念図

相中でのイオンの化学ポテンシャルの差であるので、 ΔG_{tr} を測定することにより溶液中のイオンの溶媒和エネルギーや錯形成定数などの情報が得られる。電気化学的手法を用いると、界面電位差からイオンに与えられたエネルギーを、電流からイオンの移動量 (反応量) を測定できる。また、 ΔG_{tr} などの熱力学的な値のみならず、イオン移動反応の速度に関する情報も得られるという利点がある。

液/液界面での電気化学測定に関する理論的な取り扱い、固/液界面電極反応に準じて行うことができ、これまでにサイクリックボルタンメトリーやポーラログラフィーなどの多くの電気化学測定法が適用されている。

3.1 液々界面イオン移動ポーラログラフィーによるアクチノイドの促進移動測定

界面イオン移動を観測するための手法として、液々界面イオン移動ポーラログラフィーが開発されている。我々が用いている電解セルの模式図を図9に示す。水銀滴下電極と同様に、一方の液相中に浸したキャピラリーを通してもう一方の溶液相を流し、その先端部に液滴を形成させる。図9の写真は、ニトロベンゼン相中に形成された水溶液滴を撮影したものである (比重差により水溶液滴は浮上する)。ポンプを用いて一定流速で試料水溶液を送液しながら、図に示した電極系により界面に電位差を与え電流を計測する。水溶液相を送液せずに静止させた液滴表面、あるいは内径数mmのキャピラリー内や数十 μm の微小孔に形成させた液/液界面でのイオン移動を測定するボルタンメトリーも行われているが、後述するとおり

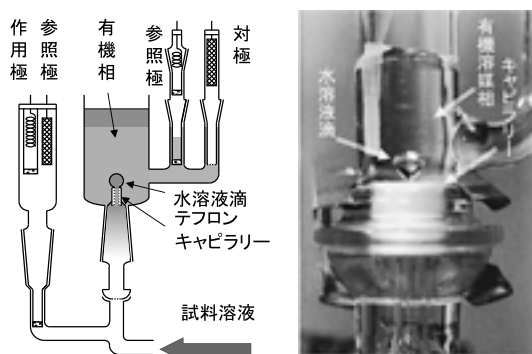


図9 液々界面イオン移動ポーラログラフセル模式図(左)と有機溶媒相中に形成された水溶液滴(右)

液／液界面にはある種の化合物(特に配位子)やイオンなどが吸着しやすいため、配位子等を共存させる場合には、液滴を随時更新しながら“新鮮な”界面でのイオン移動反応を観測できるポーラログラフィーが適している。

測定結果の一例として、ビスジフェニルフォスフォルルメタン(BDPPM)配位子をイオン移動促進剤として用いた UO_2^{2+} の水／ニトロベンゼン相界面イオン移動ポーラログラム [8] を図10に示した。 UO_2^{2+} をはじめとするアクチノイドイオンは親水性が高いため、電気化学測定に不可欠な支持電解質に由来するバックグラウンド電流に隠れる UO_2^{2+} の移動電流(図中点線で示す)は観測できない。そこで、有機相に UO_2^{2+} と錯生成する配位子(イオノフォア)を共存させると、有機相中での UO_2^{2+} の安定性が増し、イオンの界面移動に必要なエネルギーを低減することができる。図では -0.1V より正電位の領域でBDPPMに促進された UO_2^{2+} の移動電流が観測されている。

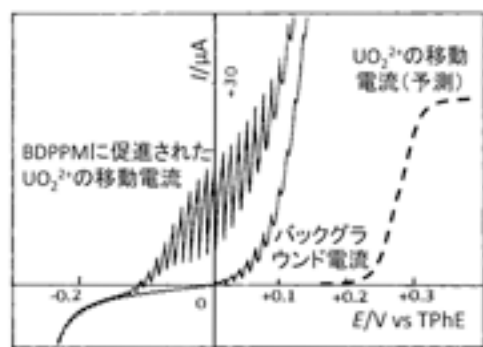


図10 UO_2^{2+} の水／ニトロベンゼン相界面移動ポーラログラム

る。一般的に水／有機相界面を横切るイオン移動は極めて早く、電気化学的に可逆的なイオン移動波が観測されることが多いが、この UO_2^{2+} のイオン移動波の可逆性は低い。

液滴電極の液滴の大きさは界面張力の影響を受けるため、一定流速で送液した場合、液滴の更新時間の変化として観測できる。界面張力は界面の分極電圧の大きさにも影響を受けるが、界面吸着種の影響も顕著である。界面張力と移動電位の相関から、BDPPMによる UO_2^{2+} の促進移動には、i) 界面へのBDPPMの吸着過程、ii) 界面吸着したBDPPMと UO_2^{2+} との錯生成過程、iii) UO_2^{2+} の界面移動に伴う吸着錯体の脱離過程、が含まれることが分かった [8]。これらBDPPMの界面吸着過程や UO_2^{2+} -BDPPM錯体の錯生成過程が遅い反応であるために UO_2^{2+} の促進移動は可逆性が低くなる。

これまでに、中性配位子である多座配位フォスフィンオキサイド [8] や Octyl (phenyl)-N, N-diisobutylcarbamoyl- methyl-phosphine oxide (CMPO) [9] によるアクチノイドイオンの促進移動反応が調べられている。また、キレート試薬をイオノフォアとして共存させた金属イオンの促進移動反応が調べられ、キレート系溶媒抽出における金属イオンの分配比がイオン移動エネルギーと錯生成定数から理論的に求まることが示されている [10]。

3.2 液々界面定電位電解法によるアクチノイド界面移動測定

先に述べたように、アクチノイドイオンは非常に親水的であるため、その移動電流を直接測定することは難しい。しかし、アクチノイドは放射能測定により比較的簡単に、かつ高感度に定量できる。この利点を活かして、液／液界面に一定電位差を印加して一方の溶液相中の目的イオンを他相に移動させ、イオンの移動量を放射能測定して移動エネルギーと移動量の関係を求める測定法を開発した。図11の液々界面定電位電解セル(CPEITIES) [11] の開発に当たっては、電解時間を短縮するため二液相界面を直接攪拌できるように工夫した。同セルにより目的イオンの全量を界面移動させるのに従来4時間以上の電解時間を

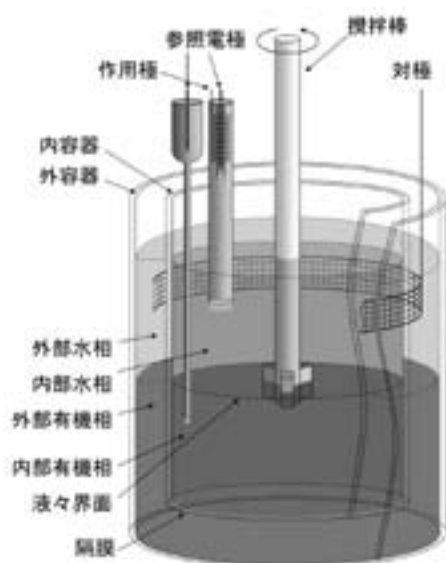


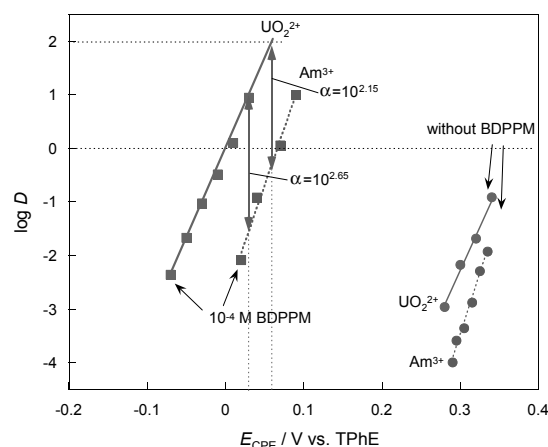
図11 液々界面定電位電解セル

要していたものを、最短で20分に短縮できる。電解によるイオン移動平衡状態での両相の目的イオン濃度あるいはイオン分配比 (D) と、電解電位 (E_{CPE}) との間には、次のネルンストの関係式が成り立つ。

$$\begin{aligned} E_{CPE} &= E^0 + (RT/zF) \log(\gamma_{org}C_{org}/\gamma_wC_w) \\ &= E^0 + (RT/zF) \log D \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、 R , T , z , γ はそれぞれ気体定数、絶対温度、イオンの電荷、活量係数である。 $\log D = 0$ を与える電位から標準イオン移動電位 (E^0) を求めることができる。また、 $\Delta G_{tr}^0 = zFE^0$ の関係より、イオン固有の移動エネルギーである標準イオン移動ギブズエネルギー (ΔG_{tr}^0) が求まる。同法は、i) 他のイオンの移動が同時に進行する系でも目的イオンの移動量を正確に決定でき、電位窓外に移動電位を持つイオン移動反応にも適用できる、ii) 放射能測定による高感度分析によりトレーサー濃度のイオンにも適用できる等の利点を有する。

UO_2^{2+} 及び Am^{3+} の移動を測定した結果を図12に示す。配位子が共存しない場合 (●)、両イオンの E_{CPE} 対 $\log D$ 関係線は、 $E_{CPE} < +0.33$ V の領域で傾きがそれぞれ約30及び20 mVの直線関係が得られ、(7) 式のネルンストの関係式と一致する。また、 E^0 から UO_2^{2+} 及び Am^{3+} の ΔG_{tr}^0 をそれぞれ71.7 kJ/mol 及び113 kJ/mol と決定できた。

図12 UO_2^{2+} 及び Am^{3+} の分配比 (D) と電解電位 (E_{CPE}) の関係

有機相に 10^{-4} M BDPPM 配位子を含む促進移動の場合 (■) も、ネルンストの関係式を満たす直線が得られる。移動電位の配位子濃度依存性や標準イオン移動電位と促進移動電位との差から、促進移動される化学種やその錯生成定数が分かる。BDPPM の場合、3 配位子が反応に関与した $[UO_2(BDPPM)_3]^{2+}$ 及び $[Am(BDPPM)_3]^{3+}$ 錯体を形成し、その錯生成定数 (β_3) は、 $10^{23.9}$ 及び $10^{27.5}$ である。

3.3 ΔG_{tr}^0 とアクチノイドの溶媒和

ここで ΔG_{tr}^0 についてももう少し解説する。既に述べたように配位子を共存させない溶液系でのイオン移動エネルギーである ΔG_{tr}^0 は、単純に両溶液相中でのイオンの溶媒和エネルギーの差であるので、アクチノイドの溶媒和状態を反映する。

我々は、極性が比較的高く、疎水性電解質を溶解しやすい5種類の有機溶媒 (ニトロベンゼン、1,2-ジクロロエタン、ベンズニトリル、アセトフェノン、NPOE) について、アクチノイドイオンの ΔG_{tr}^0 を決定した [12]。図13に H^+ の ΔG_{tr}^0 に対するアクチノイドの ΔG_{tr}^0 をプロットした。なお、これらの値は電気化学測定による移動電位から直接求めたものではなく、あらかじめ液々界面ボルタンメトリーにより決定した H^+ の ΔG_{tr}^0 を基準として、水相及び有機相に分配させた、アクチノイドイオンと水素イオンの濃度比から求めたものである。精度良い ΔG_{tr}^0 を求めるためには、有機

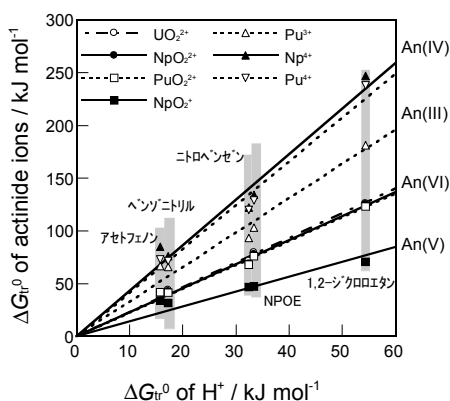


図13 アクチノイドイオン及びH⁺の ΔG_{tr}^0 の関係

相中でのイオン対生成を補正する必要があり、6価及び5価イオンについて導電率測定により求めたイオン対生成定数により補正している。3価及び4価イオンはより高次のイオン対が生成するが、理論的な取り扱いが困難であるためイオン対生成の補正は行っていない。

いずれの有機溶媒を用いた場合でも、原子価が同じアクチノイドイオンの ΔG_{tr}^0 はほぼ同じ値をとること、イオンの電荷が小さくなるに従い、4価>3価>6価>5価の順に ΔG_{tr}^0 が小さくなることから分かる。電荷あたりの ΔG_{tr}^0 を比較すると、5価イオンの NpO_2^+ が他のイオンと比べてとりわけ大きな値をとる。このように NpO_2^+ の親水性が他の原子価イオンと比べて高いことも NpO_2^+ の溶媒抽出で高い分配比が得られない要因の一つだと考えられる。アクチノイドの ΔG_{tr}^0 と水素イオンのそれとは、有機溶媒の種類によらず、ほぼ比例関係にある。これは、いずれの原子価のアクチノイドイオンも水素イオンも、イオンと有機溶媒との間には特別な相互作用がないことを示唆している。これらのイオンは親水性が高く、イオンが水和した状態のまま水相から有機相へ移動するため、有機溶媒中でのイオン-溶媒相互作用は水分子を介したものであると思われる。

3.4 液々界面イオン移動反応に立脚した分離・分析法開発

液/液界面を移動させるのに必要なエネルギーは、イオン毎に違いがあることは既に述べた。この違いを利用すれば、界面電位を制御することにより、目的イオンを選択的に界面移動させて分

離したり、移動電流や界面電位差からイオンの濃度を定量したりすることができる。

3.4.1 界面バルク電解セルによるアクチノイド分離

イオン分離を目的とした場合には、迅速に全イオンを界面移動させられる電解セルが必要である。3.2で述べた定電位差電解セルは電解抽出を行うための装置でもある。例えば水/ニトロベンゼン相界面で+0.27 Vで電解したとき Cs^+ 、 UO_2^{2+} 及び Am^{3+} の分配比はそれぞれ 10^{20} 、 10^{-32} 及び 10^{-50} であり、Csとアクチノイドの分離係数は 10^{52} ($\text{Cs}^+/\text{UO}_2^{2+}$)及び 10^{70} ($\text{Cs}^+/\text{Am}^{3+}$)と非常に大きい[11]。また、 10^{-4} M BDPPMを有機相に加えた場合、+0.055 Vでの電解では、 UO_2^{2+} 及び Am^{3+} のDは、それぞれ 10^{20} 及び $10^{-0.15}$ であり、 UO_2^{2+} のみを水相から有機相に移動させることができる(図12参照)。両者間の分離係数は 10^{215} である。イオンの電荷が異なる場合、分離係数は電解電位に依存し、+0.025 Vの電解では分離係数が 10^{265} と向上する。

これまでも二液相間に印加した電位差により溶媒抽出を促進させようとする研究例はあったが、界面イオン移動反応や溶液内の電気抵抗を理解しないため、定量的な移動を達成できず、また大きな過電圧を必要としていた。界面移動反応に立脚することにより、精密な電位制御による高効率、高選択的なイオン分離が達成できる。

3.4.2 流液系迅速電解イオン移動セルによるアクチノイド分離

より迅速かつ高効率な界面電解を行うために、2.1で示したカラム電極のような流液系での電解が可能な迅速電解イオン移動セル(Flow Electrolysis Cell for Rapid Ion Transfer, FECRIT)を開発した[13]。図14はその概念図である。内径1.0 mmの中空の多孔質テフロンチューブ(孔径 $1 \mu\text{m}$)内に $0.8 \text{ mm}\phi$ の銀線を挿入した物をらせん状に巻き、ガラス製有機相液槽内に浸す。送液ポンプを用いて、銀線とテフロンチューブの間隙(平均 $100 \mu\text{m}$ の薄層)に水相である試料溶液を流すと、有機溶媒が含浸した中空テフロンチューブ内壁に水/有機相界面が形成される仕掛けである。作用極である銀線(水相側)と、有機相液槽内にチューブと並行に設置した白金対極に

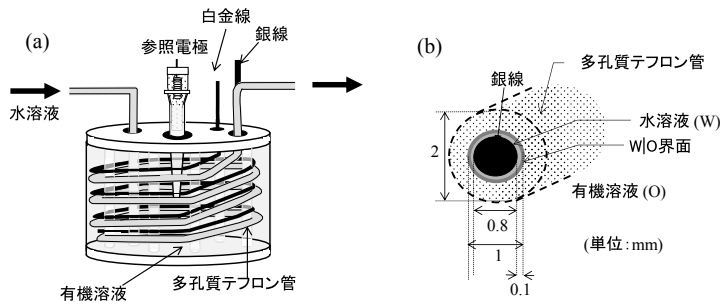


図14 流液系迅速電解イオン移動セル概念図
(a) 全体図、(b) チューブ拡大図

電位差を印加して電解する。本セルでは水相の体積に対する界面の面積の割合が非常に大きくできる、また、流液系で電解するため攪拌効果により拡散層が薄くなり、迅速な全電解が可能である。50 cm の長さのチューブを用いた場合、試料溶液が流出するまでの1分以内に全電解できる。

同セルによるイオン移動の一例として、ビスジフェニルフォスホリルエタン (BDPPE) 配位子により促進させたアクチノイドイオンの電解抽出挙動 [14] を図15に示す。BDPPEは UO_2^{2+} などの6価アクチノイドイオンに対して選択性が高く、その他のアクチノイド、ランタノイド等から選択的に分離できる。 $5 \times 10^{-5} \sim 10^{-3}$ M の U の場合、99 ~ 101% の電解効率で抽出できる。

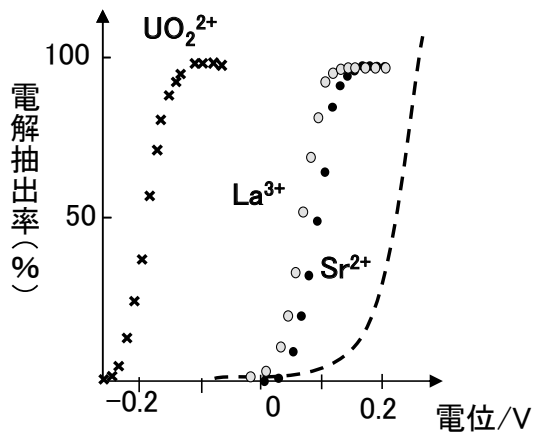


図15 FECRIT による BDPPE 共存下のアクチノイドの電解溶媒抽出
破線：バックグラウンド電流。 NpO_2^+ , Cs^+ , Np^{3+} , Pu^{3+} , U^{4+} , Np^{4+} 及び Pu^{4+} の移動電流は観測されず。

3.4.3 アクチノイドイオンセンサー

イオン選択性電極 (ISE) は、試料溶液中の目的イオンの濃度により電極の液膜/試料溶液界面の電位差が変化する現象を利用した、イオン濃度の簡便かつ迅速なセンサーである。電流-電位曲線で観測されるイオン移動の拡散電流は、溶液中の目的イオンの濃度に比例するため、イオン電流からイオンの濃度を定量することもできる。

これに対し、電極の起電力を測定しイオン濃度を定量するポテンシオメトリーは、測定可能な濃度領域が広く、サンプルの汚染も少ないためイオンセンサーとして幅広く使われている。液膜型 ISE の電位応答原理は、液/液界面での両方向へのイオン移動が釣り合った状態での界面電位に相当する。このため界面移動反応に立脚した ISE の開発ができる。

Pu^{3+} の促進イオン移動反応データに基づき開発した、 Pu^{3+} に感応する ISE の電位応答は、図16のように Pu^{3+} 濃度の対数に対して傾き 20mV/桁の良好なネルンスト応答を示す [15]。定量可能な濃度範囲は pH に依存し、最大で $10^{-7} \sim 10^{-2}$ M Pu^{3+} という広い範囲で Pu^{3+} の定量が可能である。

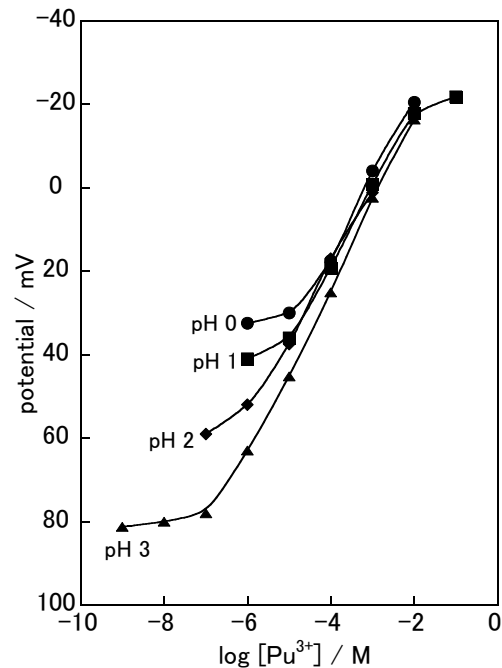


図16 Pu^{3+} イオン選択性電極の電位応答

原理を同じくする Eu^{3+} 用 ISE も開発され、ランタノイドと各種の有機配位子との錯生成定数の決定にも利用されている [16]。

4. おわりに

我々は溶液中でのアクチノイドイオンの溶存状態を正確に把握し、また溶存状態を自在に制御することを目標に、アクチノイドの酸化還元や界面移動を調べてきた。上述したように、非可逆な酸化還元のうち、還元については反応機構の解明や、電極触媒作用を利用した迅速な原子価調整法の確立も進んでいる。一方、4価イオンの酸化については未だに不明な点が多い。また、4価イオンは水酸化物沈殿やコロイドを生成しやすく、これら分散相と酸化還元との関係を明らかにすることも、溶液化学だけでなく環境動態の視点からも興味深いテーマである。液/液界面移動反応については、イオン移動反応データに基づく溶媒抽出の理論的解釈が、イオン対抽出のみならず中性配位子やキレート試薬による抽出についても可能になっている。また、電解電位によりイオン分離を制御する電解溶媒抽出の開発もあり、界面イオン移動反応はイオン分離との結びつきが強い。その反面、研究対象とされる有機溶媒の種類は限られており、より一般的な有機溶媒への拡張が今後の課題である。

電気化学測定法は実験上の自由度が大きい。本稿で紹介した種々の電極や電解セルはほぼ全て自作によるものであり、目的に合わせて多くの工夫や改良を加えてきた。グローブボックスでの実験は制約が多いが、小さな電解セルとリード線のみで接続で測定できる点からも、電気化学的手法はアクチノイド研究に向いている。

参考文献

- [1] 三頭聡明、放射化学ニュース、**16** (2007) 1-13.
- [2] S. Kihara, Z. Yoshida, H. Aoyagi, K. Maeda, O. Shirai, Y. Kitatsuji, Y. Yoshida, *Pure Appl. Chem.*, **71** (1999) 1771-1807.
- [3] Y. Kitatsuji, T. Kimura, S. Kihara, *J. Electroanal. Chem.*, **641** (2010) 83-89.
- [4] 北辻章浩、青柳寿夫、*Review of Polarography*, **52** (2006) 51-53.
- [5] H. Aoyagi, Y. Kitatsuji, Z. Yoshida, S. Kihara, *Anal. Chim. Acta*, **538** (2005) 283-289.
- [6] A. Toyoshima, Y. Kasamatsu, Y. Kitatsuji, K. Tsukada, H. Haba, A. Shinohara, Y. Nagame, *Radiochimica Acta*, **96** (2008) 323-326.
- [7] A. Toyoshima, Y. Kasamatsu, K. Tsukada, M. Asai, Y. Kitatsuji, Y. Ishii, H. Toume, I. Nishinaka, H. Haba, K. Ooe, W. Sato, A. Shinohara, K. Akiyama, Y. Nagame, *J. Am. Chem. Soc.*, **131** (2009) 9180-9181.
- [8] Y. Kitatsuji, H. Aoyagi, Z. Yoshida, S. Kihara, *Anal. Sci.*, **14** (1998) 67-70.
- [9] M. Ying, Y. Kitatsuji, T. Kimura, Z. Yoshida, *J. Nucl. Radiochem. Sci.*, **2** (2001) 11-15.
- [10] A. Uehara, M. Kasuno, T. Okugaki, Y. Kitatsuji, O. Shirai, Z. Yoshida, S. Kihara, *J. Electroanal. Chem.*, **604** (2007) 115-124.
- [11] Y. Kitatsuji, Z. Yoshida, H. Kudo, S. Kihara, *J. Electroanal. Chem.*, **520** (2002) 133-144.
- [12] Y. Kitatsuji, T. Okugaki, M. Kasuno, H. Kubota, K. Maeda, T. Kimura, Z. Yoshida, S. Kihara, *J. Chem. Thermodyn.*, **43** (2011) 844-851.
- [13] A. Yoshizumi, A. Uehara, M. Kasuno, Y. Kitatsuji, Z. Yoshida, S. Kihara, *J. Electroanal. Chem.*, **581** (2005) 275-283.
- [14] T. Okugaki, Y. Kitatsuji, M. Kasuno, A. Yoshizumi, H. Kubota, Y. Shibafuji, K. Maeda, Z. Yoshida, S. Kihara, *J. Electroanal. Chem.*, **629** (2009) 50-56.
- [15] Y. Kitatsuji, H. Aoyagi, Z. Yoshida, S. Kihara, *Anal. Chim. Acta*, **387** (1999) 181-187.
- [16] T. Sasaki, H. Yoshida, Y. Kitatsuji, I. Takagi, H. Moriyama, *Chem. Lett.*, **40** (2011) 870-871.

2011年度学会賞・奨励賞

学会賞（日本放射化学会学会賞選考委員会）

坂口 綾氏（広島大学理学研究科・地球惑星システム学科）

受賞題目：環境中のウラン同位体に関する研究

坂口綾氏は、これまで環境中の様々な放射性核種の分析と動態に関する研究を行うと共に、その地球科学的な応用を推進している。特に²³⁶Uを利用した研究では世界をリードしており、その他のウラン同位体（²³⁴U、²³⁵U、²³⁸U）の研究も含めた高い研究実績が、今回の受賞につながった。

ウラン同位体を利用した地球科学的な研究としては、²³⁴Uと²³⁸Uの放射非平衡などを利用した研究が従来からあり、坂口氏もウラン・トリウム系列の放射非平衡現象を利用した年代測定や古環境指標としての同位体比の利用などを推進してきた。一方²³⁶Uは、環境中の濃度が低く、これまでウラン同位体の1つとして分析されることはなかったが、主に加速器質量分析計の導入によりその測定と応用研究が近年進められてきている。坂口氏は、ウイーン大学のグループと連携し、主に核実験起源グローバルフォールアウト由来の²³⁶Uの寄与について研究を進め、様々な環境試料中の²³⁶U濃度を精力的に定量している。その結果、インベントリーとして $4.72 \times 10^{12} - 1.39 \times 10^{13}$ (atom/m²)程度の²³⁶Uが世界的に降下したことを示しつつある。²³⁶Uが世界的に同程度降下したことを示すことは、²³⁶Uを地球科学的トレーサーとして利用する上でも最も基礎となる事実であり、重要な成果である。

坂口氏はさらに²³⁶Uをトレーサーとして利用する研究も強力に推進しており、広島原爆の黒い雨の寄与の判定への利用や海水の水塊のトレーサーとしての利用を進めている。特に後者では、大量の海水から²³⁶Uを濃縮し分析する技術確立し、日本海や太平洋の海水中での²³⁶Uの分析を精力的に進めている。これまで利用されてこな

かった放射性核種の地球科学への利用は、極端に言えば放射化学者にしかできない革新的な地球科学への貢献であるが（例えばLibby教授による¹⁴Cが最も端的な例）、近年では新しい成果は少なかった。このように考えると、今回の坂口氏の研究がいかに重要なものであるかが理解できるであろう。

昨年の東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原発事故による放射性核種の飛散を契機に、環境中に存在する放射性核種の分析・動態解析が改めて注目されることになった。一方で我々は、こうした分析・解析ができる人材が現在の日本に不足していることも痛感した。この環境放射能分野の数少ない若手リーダーとして、坂口氏に寄せる期待は極めて大きい。実際に坂口氏は、この問題についても土壌・河川水・海水などに含まれる¹³⁷Csなどの放射性核種の分析を（²³⁶Uも含めて）精力的に進め、この課題にも多大な貢献をしている。また坂口氏は、地球惑星科学系の専攻に助教として採用され、放射化学的手法の地球科学への応用を進めるために日々様々な挑戦を続けると共に、学生の指導も行っている。放射化学は手法に独自性があるため本質的に学際的な分野であり、外分野への挑戦に躊躇している限り、放射化学の発展はない。このような坂口氏の活躍は、放射化学会の発展に貢献すると共に、より若い放射化学者への励ましのメッセージとなることであろう。

以上から分かる通り、坂口氏のこれまでの研究・活動と研究者としての将来性は日本放射化学会奨励賞に極めてふさわしいものと認められた。

（広島大・高橋嘉夫）

学会賞受賞者による研究紹介



環境中のウラン同位体に関する研究

坂口 綾 (広島大学理学研究科・地球惑星システム学科)

環境中のウラン (U) は、地球上に普遍的に存在すること、数種の同位体 ($^{234,235,236}\text{U}$) を有し、系列・物理的半減期・起源の違いなどによりその挙動が異なることから、これら事象を十分に把握することで有用な地球科学的プロキシになると考えられる。また、Uは核エネルギー資源として利用価値がある一方、その使用により放射性廃棄物を生じ、長半減期・系列核種であるがゆえに放射能汚染は長期にわたり残留する。そのため、環境中でのU挙動に関する研究は分野を問わず重要視されている。

これまで、天然放射性系列核種 $^{234,238}\text{U}$ 、 $^{230,232}\text{Th}$ を用いて琵琶湖、河口湖、ロシア・バイカル湖、モンゴル・フブスグル湖の湖底堆積物を用いて短期・長期気候変動復元に関する研究を行っており、U・Th系列核種を用いた堆積物の年代測定やU同位体のパレオマーカーとしての利用を提案している (Sakaguchi et al., 2004;2006;2009a, HDP members, 2009;Kashiwaya et al., 2010;Mino et al., 2010;Orkhonselenge et al., 2011)。さらに、前述のように地球科学的ツールとして、または汚染物質として一般的に認識されてきた環境中のU同位体 “ $^{234,235,238}\text{U}$ ” に、最近の同位体測定技術の発達に伴い注目されている “ ^{236}U ” を、新規に“環境中のU同位体”の一つに加え、新たな知見からの環境科学的研究を行うことを最終的な目的とし近年研究を行っている。

環境中の人工放射性 ^{236}U 分析とその利用

近年、機器分析技術の進歩により ^{236}U (半減期 2.342×10^7 年) が“環境中のU同位体”の一つとして認識され、天然環境での極微量 ^{236}U 検出や、環境・地球化学研究のツール/プロキシとして利用が試みられつつある。

表層環境中の ^{236}U は主に4つの起源がある。一つ目は、天然の核反応 ^{235}U (n, γ) および ^{238}U (n,3n) により生成する ^{236}U である。地殻U濃度や地上への宇宙線フラックスなどから見積もられる表層土壤中 $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比は 3×10^{-14} - 7×10^{-13} であり、現在のAMS測定技術では検出限界以下である。二つ目は、劣化Uや核関連施設周辺の放射能汚染地域で検出される ^{236}U であり、 $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比では特定困難なU汚染を識別できる有用な指標として利用されている。この $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比は、燃焼度の違いや地殻U濃度により変動するが、 10^{-7} - 10^{-3} の範囲で報告されている (例えば Boulyga and Heumann, 2006)。三つめは大気圏内核実験に由来する (グローバルフォールアウト) ^{240}Pu の α 壊変により成長した ^{236}U である。日本におけるPu降下量より見積もられる成長 ^{236}U は2012年現在 1.0×10^9 - 5.0×10^{11} atoms/m²、 $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ 比では 2.6×10^{-12} - 5.3×10^{-11} である。四つ目はグローバルフォールアウト由来の ^{236}U である。これは、主として水爆のデバイスとして用いられた ^{238}U の ^{238}U (n,3n) 反応により生成すると考えられるが、地上への降下量や他の代表的なグローバルフォールアウト放射性核種も併せた組成に関する研究はこれまでなかった。今後、測定技術の発展により ^{236}U 測定およびこれを利用した研究がますます増えるであろうことが予想される。その研究推進のためには、 ^{236}U グローバルフォールアウトの詳細な見積もりは必須である。そこで、まずグローバルフォールアウト ^{236}U を他の代表的な人工放射性核種も併せて降下量や組成、土壤中での挙動について明らかにした。現在、環境中 ^{236}U 測定の応用として、海洋トレーサーとしての利用や、広島原爆黒い雨に関する研究への利用を試みている。

グローバルフォールアウト ^{236}U の定量と土壤中核種組成

2008年 - 2010年にかけて、石川県能美市の土壤長期観測地点、秋田、山形、長野、茨城、広島にて未攪乱地より、直径4.8 cm 深度30 cmの円筒土壌コア試料を併せて27本採取し、 ^{236}U をはじめ、グローバルフォールアウト核種として代表的な ^{137}Cs やPu同位体を、目的測定核種に

応じた前処理・化学分離後、Ge 半導体検出器、 α スペクトロメトリー、ICP-MS、AMS により、 ^{137}Cs 、U 同位体 (^{236}U , ^{238}U)、Pu 同位体 ($^{239+240}\text{Pu}$) をそれぞれ深度別に測定した。

降水量の多い石川県の土壌中 $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ 原子比および ^{236}U 濃度範囲はそれぞれ 1.85×10^{-8} – 1.09×10^{-7} , 8.92×10^8 – 3.76×10^9 (atoms/g) であった。これはインベントリーで 4.72×10^{12} – 1.39×10^{13} (atoms/m²) に相当する。 ^{236}U 深度分布は $^{239+240}\text{Pu}$ とよい相関を示し $^{236}\text{U}/^{239+240}\text{Pu}$ 比は $(1.56 \pm 0.10) \times 10^{11}$ (atoms/Bq) と見積もられた (Fig. 1)。他の地域の土壌でも核種の深度分布や同位体組成は石川県と同様な結果を示した。これら測定結果と報告されている全グローバルフォールアウト $^{239+240}\text{Pu}$ (14 PBq) から、グローバルフォールアウトとして全世界に放出された ^{236}U は約 900 kg と見積もられた。このように、表層土壌中の低濃度 ^{236}U 測定から核施設などによる燃焼 U 汚染を評価する際には、グローバルフォールアウト ^{236}U の影響も考慮することが重要であると示唆した (Sakaguchi et al., 2009b; 2010a; 2010b)。

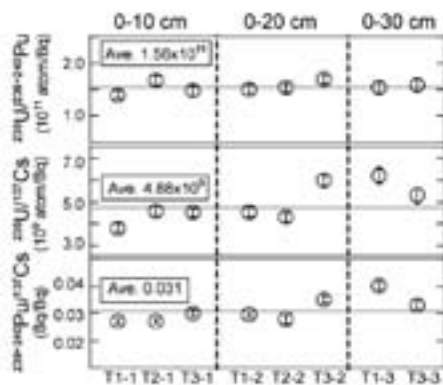


Fig. 1 Comparison of ratios among fallout nuclides, $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$, $^{236}\text{U}/^{137}\text{Cs}$ and $^{236}\text{U}/^{239+240}\text{Pu}$ in the soil cores from Ishikawa pref. Japan.

環境中 ^{236}U の利用研究

海洋研究におけるトレーサー利用

上記の基礎研究から、すでに大量の ^{236}U が大気圏内核実験由来のグローバルフォールアウト核種として世界中に放出されたことを明らかにした。このことから、現在の技術では検出限界以下

である天然 ^{236}U よりもむしろこの核実験由来グローバルフォールアウト ^{236}U の利用可能性を見出した。

^{236}U は、グローバルフォールアウトによって大気から海洋にもたらされ、海水中では保存性（溶解性）物質として存在する。そのため、水塊移動・海水循環の有用なトレーサーになると考えられる。さらに様々な半減期・起源をもつ海水保存性（溶解性）・非保存性（粒子吸着性）の天然および人工放射性核種も併せて測定・解析することで水塊の起源、混合、循環および粒子の挙動や除去機構について時間軸を入れての詳細な解明が可能となる。2009年航海で採取した100試料以上の海水分析の結果、20 Lの海水中 ^{236}U の測定に成功すると同時に、採取地点による $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ 深度分布の違いが見いだされた。また、これまで海水トレーサーとして利用されてきた ^{137}Cs の深度分布とよく一致し (Fig. 2)、Uの海洋挙動解明や水塊移動のトレーサー利用の可能性を強く示唆した。現在行っている研究では、近年の急激な水温上昇や深層水中の溶存酸素量低下、越境海洋汚染が懸念されているミニチュアオーシャン日本海において、様々な半減期や起源をもつ海洋中の極微量天然・人口放射性核種分布の総合的な時・空間的解析から日本海における詳細な物質・海水循環の解明を目指す。特にこれまで海洋で測定例のなかった ^{236}U を、実際に日本海にて測定・解析することで、日本海固有（深層）水形成過程や循環

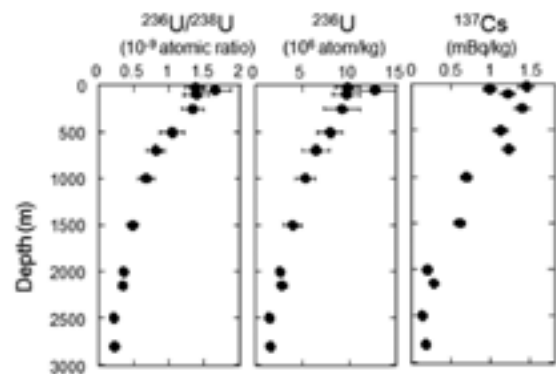


Fig. 2 Depth profiles of $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ atom ratio and the concentration of ^{236}U (atom/kg) together with ^{137}Cs (mBq/kg) in the water column at the Japan Sea. Error bars are one standard deviation.

に関する新たな知見を得るとともに、最終的には海洋トレーサーとして確立することを目指している（論文投稿中 Sakaguchi et al., in prep）。

広島原爆黒い雨に関する研究への利用

原爆投下の20-30分後に爆心地より北西方向を中心に雨が降ったと言われている。これは、“黒い雨”と呼ばれ、大気中の放射性核種を close-in フォールアウトとして地上にもたらし、その後の被ばく線量に寄与した可能性があるかと危惧されている。これまで黒い雨に関する研究は、聞き取り調査や放射能測定など行われてきたが(Sakaguchi et al., 2010a, Kawai et al., 2010)、原爆投下後の時間経過や核実験由来のグローバルフォールアウト・天然放射性核種による妨害から、戦後65年以上経過した今でもその詳細は明らかになっていない。現在行っている研究では、原爆投下三日後に理研・仁科グループにより採取された土壌、民家の壁に実際の残っていた黒い雨、原爆投下後1-4年以内に建てられ、グローバルフォールアウトの影響がないと予想される家屋の床下土壌中の人工放射性核種 ^{137}Cs 、 Pu 同位体に加えて、世界の原爆実験ではほとんど例がなかったU爆弾ならではの生成核種 ^{236}U を加え、その核種組成および蓄積量から、黒い雨地域および原爆由来 close-in フォールアウト核種量の評価を試みる。

これまでの結果より、上記で測定したグローバルフォールアウト量の約1/10の ^{137}Cs 蓄積量とともに、床下土壌からは壁の黒い雨や仁科試料とほぼ一致しグローバルフォールアウトとは異なる $^{236}\text{U}/^{137}\text{Cs}$ 比を見出した（速報論文準備中 Sakaguchi et al., in prep.）。今後、土壌試料採取地点を増やすことで黒い雨地域特定および放射性物質降下量を見積もることを最終的な目的として研究を進めて行く。

これらの研究は、広島大学理学研究科地球惑星システム学科、金沢大 LLRL をはじめとし多くの機関の方々に御協力・御尽力いただき、行うことができました。深く感謝申し上げます。また、主として研究活動の場にさせて頂いております放射化学会の皆様に、心より御礼申し上げます。

引用文献（年代順）

- 1) A. Orkhonselenge, K. Mino, K. Kashiwaya, S. Krivonogov, M. Yamamoto, A. Sakaguchi and T. Nakamura, Holocene hydro-environmental changes in northern Mongolia inferred from lacustrine sediments in Borsog Bay of Lake Khuvsgul, *Journal of Earth Environment*, 2, *Journal of Earth Science*, 457-461, 2011.
- 2) A. Sakaguchi, K. Kawai, P. Steier, T. Imanaka, M. Hoshi, S. Endo, K. Zhumadilov, M. Yamamoto, Feasibility of using ^{236}U to reconstruct close-in fallout deposition from the Hiroshima Atomic Bomb, *Science of the Total Environment*, 408, 5392-5398, 2010.
- 3) K. Kashiwaya, S. Ochiai, G. Sumino, T. Tsukamoto, A. Szyniszewska, M. Yamamoto, A. Sakaguchi, N. Hasebe, H. Sakai, T. Watanabe, T. Kawai, Climato-hydrological fluctuations printed in long lacustrine records in Lake Hövsgöl, Mongolia, *Quaternary International*. 219, 178-187, 2010.
- 4) A. Sakaguchi, K. Kawai, P. Steier, J. Tomita, M. Hoshi, M. Yamamoto, FIRST RESULTS on ^{236}U level in SOILS FROM global fallout-Application for ENVIRONMENTAL DINAMICS-, *Proceedings of International Workshop On Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences*, ISBN 978-4-924861-23-7, 81-87, 2010.
- 5) K. Kawai, K. Mino, T. Imanaka, M. Hoshi, K. N. Apsalikov, M. Yamamoto, A. Sakaguchi, Radionuclide Contamination of the Settlements where the Semipalatinsk Historical Cohort resided: Laying Stress on Sarzhal and Karaul Settlements in the Southern Area, *Proceedings of International Workshop On Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences*, ISBN 978-4-924861-23-7, 138-145, 2010.
- 6) K. Mino, A. Sakaguchi, S. Krivonogov et al., Uranium and Thorium Records in the

- Holocene High-resolution Sediments from Borsog Bay in Lake Hovsgol, Mongolia, Proceedings of International Workshop On Low-level Measurement of Radionuclides and Its Application to Earth and Environmental Sciences, ISBN 978-4-924861-23-7, 129-137, 2010.
- 7) A. Sakaguchi, M. Yamamoto, J. Tomita et al. Uranium-series chronology for sediments of Lake Hovsgol, Mongolia, and the 1-Ma records of Uranium and Thorium isotopes from the HDP-04 drill core. *Quaternary International*. 205, 65-73, 2009.
- 8) Hovsgol Drilling Project Members, Sedimentary record from Lake Hovsgol, NW Mongolia: Results from the HDP-04 and HDP-06 drill cores, *Quaternary International*. 205, 21-37, 2009.
- 9) A. Sakaguchi, K. Kawai, P. Steier et al. First results on ^{236}U levels in global fallout. *Science of the Total Environment*. 407, 4238-4242, 2009.
- 10) A. Sakaguchi, M. Yamamoto, K. Sasaki, K. Kashiwaya, Uranium and Thorium Isotope Distribution in the offshore Bottom Sediment Core of the Selenga Delta, in Lake Baikal, Siberia, *Journal of Paleolimnology*, 35, 807-818, 2006.
- 11) S.F. Boulyga and K.G. Heumann, Determination of extremely low $^{236}\text{U}/^{238}\text{U}$ isotope ratios in environmental samples by sector-field inductively coupled plasma mass spectrometry using high-efficiency sample introduction, *Journal of Environmental Radioactivity*. 88 (2006) 1-10.
- 12) A. Sakaguchi, M. Yamamoto, T. Shimizu, S. Koshimizu, Geochemical record of U and Th isotopes in bottom sediments of Lake Kawaguchi at the foot of Mt. Fuji, Central Japan, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 262, 617-628, 2004.
- 13) A. Sakaguchi, A. Kadokura, P. Steier, Y. Takahashi, K. Shizuma, M. Hoshi, T. Nakakuki, M. Yamamoto, Uranium-236 as a new oceanic tracer: a first depth profile in the Japan/East Sea and comparison with caesium-137, *Earth and Planetary Science Letters*. in prep.

特集 (福島問題)

福島第一原子力発電所タービン建屋たまり水中の ^{89}Sr および ^{90}Sr の分析

浅井志保 (日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門)

岡野正紀 (日本原子力研究開発機構 再処理技術開発センター)

亀尾 裕 (日本原子力研究開発機構 バックエンド推進部門)

1. はじめに

東京電力(株)福島第一原子力発電所(以下、「福島第一原発」と略す)の事故によって多量の放射性物質が原子炉から放出され、大きな問題となっている。放出された放射性物質のうち、 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、および ^{137}Cs については、数多くのモニタリングデータが蓄積され、汚染の程度や範囲の評価などに利用されている。

^{131}I 、 ^{134}Cs 、および ^{137}Cs は全て γ 線を放出するため(γ 線と β 線を両方放出する)、多くの場合ゲルマニウム半導体検出器によって定量されている。ゲルマニウム半導体検出器による γ 線計測では、スペクトル分解能が高く妨害成分による干渉の影響が少ないため、化学分離せずに非破壊の状態ですぐに測定でき、多数のデータ提供が可能となっている。

^{89}Sr および ^{90}Sr は、 ^{137}Cs と同様に核分裂収率が大きく(^{89}Sr : 4.9%, ^{90}Sr : 5.9%) [1]、原子炉内で多量に生成する核種である。しかしながら、事故後に公開されたモニタリングデータ数は ^{137}Cs に比べて極端に少なく、2011年8月現在で数件程度に留まっている [2, 3]。このことは、ストロンチウムがセシウムに比べて飛散しにくい元素であることも関係するが、 ^{89}Sr および ^{90}Sr の分析に長時間を要することが大きな要因となっている。本稿では、 ^{89}Sr および ^{90}Sr の分析に関連する放射化学的性質について解説するとともに、福島第一原発1~4号機のタービン建屋たまり水(以下、「たまり水」と略す)を試料として実際におこなった ^{89}Sr および ^{90}Sr 分析の概要と結果について紹介する。

2. ^{89}Sr および ^{90}Sr の放射化学的性質

^{89}Sr および ^{90}Sr の分析の困難さは、それらの放射化学的性質が深く関係している。 ^{89}Sr および

^{90}Sr の崩壊図を図1に示す。 ^{89}Sr および ^{90}Sr は、いずれも半減期が比較的短い純 β 核種であり、一般に、ガスフローカウンターや液体シンチレーションカウンターなどを用いて β 線を計測する。 β 線計測では、 β 線を放出する共存核種を全て除去する必要があるため、化学分離工程が複雑になる。特に、たまり水を試料とする場合は、短半減期の核種、 ^{131}I 、 ^{140}Ba 、 ^{140}La などを多量に含むため、化学分離によってこれらを確実に除去することが信頼性の高い分析結果を得るために重要となる。

^{90}Sr は、図1に示されるように、娘核種 ^{90}Y と放射平衡の関係にある。 ^{90}Y も純 β 核種であるため、化学分離によって得られるストロンチウム単離液中には、単離後に ^{90}Sr の崩壊によって生成した ^{90}Y を含めて、放出エネルギーおよび半減期が異なる3種類の純 β 核種が共存することになる。さらに、 ^{89}Sr の減衰と ^{90}Y 生成によって全 β 放射能濃度が刻々と変化する。

このように、 ^{89}Sr および ^{90}Sr 分析では、特徴的

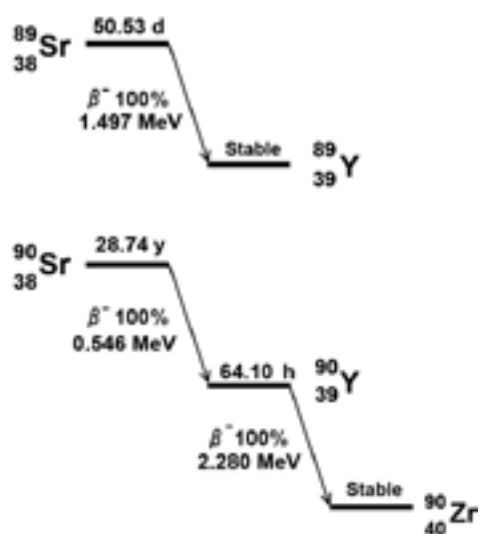


図1 ^{89}Sr および ^{90}Sr の崩壊図
(図中数値は「アイソトープ手帳第11版」から引用)

な放射化学的性質のため、化学分離の複雑さに加え、計算による減衰補正および ^{90}Y 生成率補正が必要となり、分析が複雑化する原因となっている。

3. ^{89}Sr および ^{90}Sr の分析方法

3.1 環境試料中 ^{89}Sr および ^{90}Sr の分析方法

環境試料を対象とした ^{89}Sr および ^{90}Sr の分析方法はすでに標準化されており、「文部科学省、放射能測定法シリーズ2、放射性ストロンチウム分析法」[4]の中で詳しく説明されている。この方法は、大きく分けて以下の3つのステップで構成される。

①化学分離用溶液の調製

土壌のような固体試料は、加熱酸抽出、または酸分解して溶液化する。液体試料でも固体が混在する場合には、蒸発乾固後に酸分解する。

②ストロンチウムの単離 (スカベンジング)

陽イオン交換分離や沈殿分離を組み合わせて試料中の共存成分を除去し、ストロンチウムを単離する。

③イットリウムの単離 (ミルキング)

スカベンジング後、 ^{90}Sr から生成する ^{90}Y が平衡状態に達するまで試料を静置(2週間以上)して、沈殿分離によってストロンチウムからイットリウムを単離する。

②で得られるストロンチウム単離液は、 $^{89}\text{Sr} + ^{90}\text{Sr}$ (^{90}Y)の β 線計測、 ^{90}Y のミルキング、ストロンチウム回収率測定(原子吸光分析装置AASまたは誘導結合プラズマ発光分光分析装置ICP-AESを用いる)、の3つの目的に分けて使用する。ストロンチウム単離液の計数値から $^{89}\text{Sr} + ^{90}\text{Sr}$ (^{90}Y)放射能に換算する際には、計数効率、ストロンチウムの回収率、 ^{90}Y の生成率、 ^{89}Sr 放射能減衰率を補正する。

③のミルキング操作で得られるイットリウム単離液は、それぞれ、 ^{90}Y の β 線計測とイットリウムの回収率測定に使用する(装置はストロンチウム回収率測定の場合と同じ)。計数効率、ストロンチウム回収率、 ^{90}Y の生成率、イットリウム回収率、および ^{90}Y 放射能減衰率を補正して得られる ^{90}Y 放射能は、試料中の ^{90}Sr 放射能に等しくな

る。ここで、②で得られる $^{89}\text{Sr} + ^{90}\text{Sr}$ (^{90}Y)の放射能から ^{90}Sr (^{90}Y)の放射能を差し引くことによって試料中の ^{89}Sr の放射能が算出される。

たまり水試料のように、試料中に多量の ^{90}Sr が存在すると予想される場合には、ストロンチウム単離後に短時間で十分な ^{90}Y が生成するため、放射平衡に達するまで静置する必要がなく、迅速な結果報告が可能となる。

3.2 たまり水試料への適用

たまり水は、高濃度の放射性物質と海水組成に近い高濃度の塩成分(塩化物、ナトリウム、マグネシウム、カリウム、カルシウムなどのイオン)を含む、といった環境試料にはない特徴がある[3]。したがって、高濃度の共存 β 線放出核種や塩成分を化学分離することになり、汚染や被ばくの低減に配慮した方法とする必要がある。

環境試料を対象とした現行の分析工程[4]には、炭酸塩やシュウ酸塩などによる沈殿分離が含まれる。これらの沈殿分離操作は飛散によって汚染しやすいため、高濃度の放射性物質を含むたまり水試料の分析には適さない。また、試料中の ^{89}Sr および ^{90}Sr 放射能濃度が検出限界値に対して十分に高いと予想されるため、分析に供する試料量を可能な限り少量とし、汚染や被ばく、分析廃棄物を最小限とすることが望ましい。そこで、たまり水分析では沈殿分離を含まない小規模なカラム操作のみで構成することを基本方針として、迅速に分析データを提供することを目指した。

4. たまり水分析の実際と分析結果

4.1 分析概要

分析対象とした試料は、3月24および27日に福島第一原発内で採取されたもので[3]、4号機以外の試料は希釈された状態で分析に使用した(希釈倍率は1号機:10倍、2号機:20倍、3号機:10倍)。化学分離は、32項で説明した方針にしたがい、沈殿分離の代替法として陽イオン交換樹脂カラム(Bio-rad 50W×8)1本とEichrom社製の抽出クロマトグラフィー樹脂カラム(Sr-Rsin)[5,6]2本を組み合わせる方法とした。Sr-Resinによる分離方法は研究施設等廃棄物を対象とした ^{89}Sr および ^{90}Sr 分析法[7]を参考とした。分

析フローを図2に示す。Sr-Resinとは、 Sr^{2+} を選択的に捕捉する試薬 4,4'-(5)-di-*t*-butylcyclohexano 18-crown-6を担持した樹脂であり、環境試料 [8, 9] や放射性廃棄物試料 [7] 中の放射性ストロンチウムの分析に広く用いられている。陽イオン交換樹脂に比べて高価であるが、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Ba^{2+} などのアルカリ土類金属イオンから Sr^{2+} を迅速簡便に分離できる点で優れている。

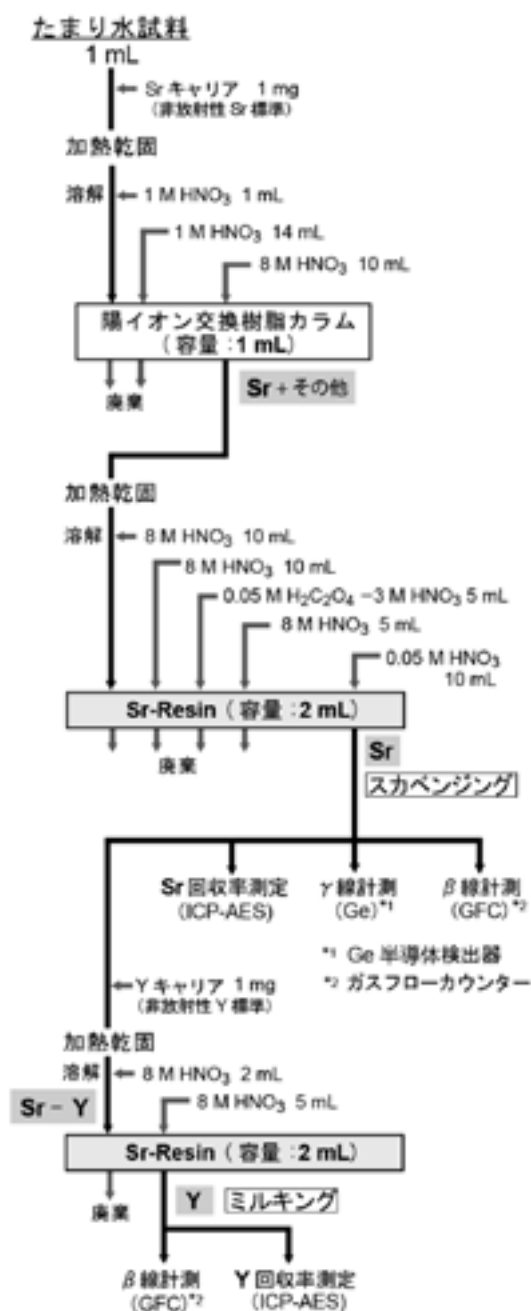


図2 たまり水中 ^{89}Sr および ^{90}Sr の分析フロー

本方法では、まず、陽イオン交換樹脂カラムによって Na^+ 、 K^+ 、 Cs^+ 、 I^- などを溶出除去し、試料中の塩成分濃度と放射能濃度を下げた後、ストロンチウムを含むカラム溶出液をSr-Resinカラムに通液した。Sr-Resinに Sr^{2+} が保持された状態で他の共存核種が溶出除去されるため、ストロンチウム単離液が得られる（スカベンジング）。ストロンチウム単離液の β 線計測結果から、たまり水試料中に十分に $^{89}\text{Sr} + ^{90}\text{Sr}$ (^{90}Y) 放射能が存在することがわかったので、 $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ 放射平衡を待たずに、ストロンチウム単離液を別のSr-Resinカラムに通液し、 Sr^{2+} をカラムに保持した状態で ^{90}Sr から生成した ^{90}Y を溶出し単離した。分析時間は全工程で1週間程度であった。

4.2 分析結果

分析結果を表1に示す。表中濃度は、原液濃度に換算した値である。ストロンチウムおよびイットリウムの回収率は、それぞれ80～90%、67～89%と良好な値であった。また、ストロンチウム単離液の γ 線計測の結果から、主要な妨害成分 (^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 、 ^{140}Ba 、および ^{140}La など) の影響が無視できることを確認した。さらに、ミルクされた ^{90}Y の β 線計測を経時的に実施したところ、計数率の減衰曲線が ^{90}Y 放射能の減衰曲線に一致したことから、測定試料中の他の β 核種の寄与は無視でき、本方法でイットリウムが問題なく単離できたことがわかった。

5. おわりに

今回分析対象としたたまり水試料中のうち、2および3号機の試料については、 ^{90}Sr が誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) でも定量できる濃度レベルであることがわかった。ICP-MSによる測定は、主な妨害成分が同体重のみであり化学分離操作を単純化できること、また、長寿命核種の場合は放射線計測よりも微量の検出が可能なこと、といった利点があり、現在では放射線計測と並ぶ有力な分析手段となっている。しかしながら、 ^{90}Sr は半減期が28.74年と比較的短く、環境試料など低濃度試料では質量分析の適用が困難であるため、これまでほとんど実施されてこなかった。たまり水試料のように高濃度の ^{90}Sr を含む

表1 各タービン建屋たまり水試料中分析結果（原液濃度換算）

試料	回収率 [%]		$^{89}\text{Sr}^*$ [Bq/mL]	^{90}Sr [Bq/mL]	^{137}Cs [Bq/mL]	$^{90}\text{Sr} / ^{137}\text{Cs}$
	Sr	Y				
1号機	90	67	$(5.7 \pm 1.1) \times 10^1$	$(2.1 \pm 0.5) \times 10^1$	1.6×10^5	1.3×10^{-4}
2号機	80	89	$(7.0 \pm 1.4) \times 10^5$	$(1.4 \pm 0.3) \times 10^5$	2.8×10^6	5.0×10^{-2}
3号機	90	87	$(8.6 \pm 1.7) \times 10^4$	$(1.5 \pm 0.3) \times 10^4$	1.6×10^5	9.4×10^{-2}
4号機	90	88	< 0.13	< 0.13	2.2×10^1	

*4月13日時点の値に補正

試料の場合は、化学分離法をシンプルに設計できる ICP-MS を適用することによって分析時間の大幅な短縮が期待される。放射化学分析によって得られるデータは環境影響や汚染状況などを評価する上で重要な情報となる。今後も信頼性の高いデータを速やかに提供することを目指し、分析技術の向上に努めたい。

謝 辞

本原稿作成にあたり、財団法人日本分析センターの伴場滋氏、財団法人放射線利用振興協会の河野信昭氏には、大変貴重なご意見をいただきました。また、独立行政法人日本原子力研究開発機構の森田泰治氏、星亜紀子氏、片山淳氏、渡辺幸一氏、および川崎将亜氏には、分析にあたり多大なご協力をいただきました。心より感謝申し上げます。

参考文献

- [1] H. Ihara, "Tables and figures from JNDC nuclear data library of fission products, version 2", *JAERI-M 89-204*, (1989)
- [2] 文部科学省ホームページ、東電福島原発周辺のモニタリング、ダストサンプリング、環境試料及び土壌モニタリング（ストロンチウム、プルトニウムなどを含む）、"3月16、17、19の陸土および植物中の ^{89}Sr および ^{90}Sr の分析結果"、2011年8月19日現在、http://radioactivity.mext.go.jp/ja/1260/2011/03/1304935_0412_1.pdf
- [3] 東京電力ホームページ、東日本大震災後の福島第一・第二原子力発電所の状況、プレスリリース、記者会見配布資料 2011年5月22日、"タービン建屋たまり水分析結果（JAEA）"、

2011年8月19日現在

http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_110522_04-j.pdf

- [4] "文部科学省、放射能測定法シリーズ2、放射性ストロンチウム分析法、平成15年改訂（4訂）"、日本分析センターホームページ、http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/main_pdf_series_2.html
- [5] E. P. Horwitz, M. L. Dietz, R. Chiarizia, "The Application of Novel Extraction Chromatographic Materials to the Characterization of Radioactive Waste Solutions", *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **161**, 575-583 (1992).
- [6] E. Philip Horwitz, Mark L. Dietz, Dan E. Fisher, "Separation and Preconcentration of Strontium from Biological, Environmental, and Nuclear Waste Samples by Extraction Chromatography Using a Crown Ether", *Anal. Chem.*, **63**, 522-525 (1991).
- [7] 亀尾裕、島田亜佐子、石森健一郎、原賀智子、片山淳、星亜紀子、中島幹雄、"研究施設等廃棄物に含まれる放射性核種の簡易・迅速分析法（分析指針）"、*JAEA-Tech 2009-051* (2009).
- [8] N. Vajda, A. Ghods-Esphahani, E. Cooper, P. R. Danesi, "Determination of Radiostrontium in Soil Samples Using a Crown Ether", *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **162**, 307-323 (1992).
- [9] S. L. Maxwell III, B. K. Culligan, "Rapid method for determination of radiostrontium in emergency milk samples *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **279**, 757-760 (2009).

特集 (福島除染問題)

放射線グラフト重合法によるセシウム除去用吸着繊維の開発

斎藤恭一 (千葉大学工学部共生応用化学科)

1 はじめに

福島第一原発での事故によって、ヨウ素 I-131、セシウム Cs-137 といった放射性物質が環境中へ放出された。セシウムには、土壌や瓦礫に付着している分と、海水や農業用水などの水に溶存している分とがある。セシウム-137 は半減期が 30 年と長いので、その除去が強く望まれている。

液中のセシウムを捕集できる物質として、ゼオライトやフェロシアン化金属化合物が 1958 年の研究 [1] で報告されている。こうした無機化合物はセシウム除去後の最終処分まで焼却や溶融固化による減容がむずかしい。また、フェロシアン化金属化合物は粒子径が小さく、吸着あるいは凝集沈殿操作後の微粉末のハンドリングに工夫を要する。

吸着材の粒子径が小さいと吸着除去速度が速く、望ましいけれども、装置 (例えば、カラム) に充填すると流動抵抗が大きくなり不利とも言える。そこで、私たちの研究グループは、小さな径の吸着材粒子を繋げた集合体が繊維であるという考えから、セシウム除去用吸着繊維を開発することにした。市販のナイロン繊維に、セシウムを吸着できるフェロシアン化コバルト ($K_2Co[Fe(CN)_6]$ や $Co_2[Fe(CN)_6]$) を担持することにした。したがって、ここで開発する材料は、ナイロン繊維という“有機化合物”とフェロシアン化コバルトという“無機化合物”との“ハイブリッド (hybrid)”繊維である。

2 放射線グラフト重合法の特長

ナイロン繊維に直接、フェロシアン化コバルト化合物の微粉末を糊づけするわけにはいかない。そこで、材質や形状に依らずに、機能を取り付けることに役立つ手法である放射線グラフト (接ぎ木) 重合法 (radiation-induced graft polymerization) を適用する。グラフト重合とは、

出発材料 (基材とも呼ぶ) に、ラジカルを作り、そこを開始点としてビニルモノマーを接触させ、高分子鎖を成長させる反応である。ラジカルの生成に電子線やガンマ線を用いるから、放射線グラフト重合法という名が付いた。ラジカルを作るのに、プラズマ、光、薬品を使う方法もある。

放射線グラフト重合法の特長は、基材の材質や形状を広く選択できることである。これまでに、材質として、ポリエチレン (polyethylene)、ナイロン (nylon)、ポリフッ化ビニリデン (polyvinylidene difluoride) などがあり、形状として、中空糸膜、シート、繊維、不織布、粒子などがある。特に、放射線グラフト重合法の中でも前照射法を採用すると、照射工程とグラフト重合工程を別々に実施できるので、実用化に向けた材料プロセスを構成できる。

これまで、私たちは、金属イオンやタンパク質を“高速かつ高容量で”回収することを目的にして研究を進めてきた [2]。ポリエチレン製の多孔性中空糸膜や多孔性シートを基材に用い、放射線グラフト重合法によって、エポキシ基をもつ高分子鎖を接ぎ木した後、エポキシ基をさまざまな官能基に転化した。イオン交換基、キレート形成基、疎水性リガンド、そしてアフィニティリガンドを官能基として導入した。

膜厚 1 mm 程の多孔性膜には、 $0.1\mu\text{m}$ 程の直径の孔が、体積比率で約 70% 開いている。膜厚は孔径の 10 000 倍である。こういう寸法の材料では、膜内での液の滞留時間に比べて、孔内での半径方向の金属イオンやタンパク質の拡散時間が無視できるほど短くなるので、物質移動の点からきわめて好都合である。結果として、イオン交換基をもつグラフト鎖を孔表面に取り付けた多孔性中空糸膜にタンパク質溶液を速く透過させると、それだけ速くタンパク質をグラフト鎖に捕集できた。理想的な吸着操作を達成できたことになる。

その上、イオン交換基をもつグラフト鎖は荷電反発によって孔表面で伸長し、タンパク質がグラフト鎖間に多層で積み重なって吸着した。こうした研究成果から、グラフト鎖はそれなりに長く、荷電があると伸びて、分子やイオンをグラフト鎖間に取り込むというイメージを持っていた。このイメージが、次の項で示すように、フェロシアン化コバルトの沈殿物を繊維に担持できそうだという考えにつながった。

3 フェロシアン化コバルトの繊維への担持

原子力発電の普及に伴い、放射性廃棄物の処理や処分に関連して、セシウムを吸着する物質としてフェロシアン化金属化合物の研究 [3] が進められていた。対象は、海水中のセシウムではなく、高濃度硝酸あるいはその中和液中のセシウムであり、その吸着および溶出性能が調べられてきた。福島第一原発の高濃度汚染水の浄化システムを担当しているアレバ社（フランス）とキュリオン社（アメリカ）のうち、アレバ社がフェロシアン化金属化合物を凝集沈殿操作に用いている。

日本では、1965年に放射線医学総合研究所の渡の研究グループ [3] が多孔性イオン交換樹脂ビーズにフェロシアン化金属化合物を担持する方法を提案し、その後、九州工業技術研究所（現在、産業技術総合研究所九州センター）の谷原 [4] および東北大学の三村の研究グループ [5] は、シリカゲルやゼオライトにフェロシアン化金属化合物を担持する方法を提案した。放射性セシウムを高密度に吸着した場合に、セシウムから出るガンマ線によって吸着材が劣化するのを防ぐために、フェロシアン化金属化合物の担体を有機高分子のイオン交換樹脂から無機化合物のシリカゲルやゼオライトに移したという事情がある。今回の場合、

対象溶液中のセシウム濃度がきわめて低く、吸着材の劣化が問題になるまで高密度にセシウムが吸着しない。

私たちは、渡氏の研究成果 [3] を大いに参考にさせていただいた。以前の研究で、ナイロン繊維に一段のグラフト重合によってイオン交換繊維を作製できていたので、その繊維の表面あるいは内部でフェロシアン化コバルトの沈殿を作り、担持することをめざした。

市販のナイロン繊維にフェロシアン化コバルトを担持する経路を図1に示す。まず、ナイロン繊維に電子線を照射後、アニオン交換基として第四級アンモニウム塩基をもつビニルモノマー（ビニルベンジルトリメチルアンモニウムクロライド）をグラフト重合させた。つぎに、接ぎ木されたグラフト鎖中のアニオン交換基に、フェロシアン化物イオン ($[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$) を吸着させた。さらに、その繊維を塩化コバルト (CoCl_2) 水溶液中に浸漬させて沈殿反応を起こして、フェロシアン化コバルトを繊維に担持した。生成した沈殿が繊維から欠落しないので担持できたわけである。金属や金属酸化物を無機化合物に担持した材料は触媒として多用されている。この場合は、シリカゲルやゼオライトを金属塩水溶液に浸漬して、その後取り出し、乾燥、高温焼成を経て、金属や金属酸化物の微粒子をシリカゲルやゼオライトに担持する。

4 セシウムのハイブリッド吸着繊維への吸着速度

放射性セシウムを使って吸着試験を千葉大学で実施するには認可が必要になる。そこで、日本原子力学会のホームページにセシウムの吸着性能を評価する実験の条件が載っていたので、それに従うことにした [6]。10 ppm (10 mg-Cs/L) のセ

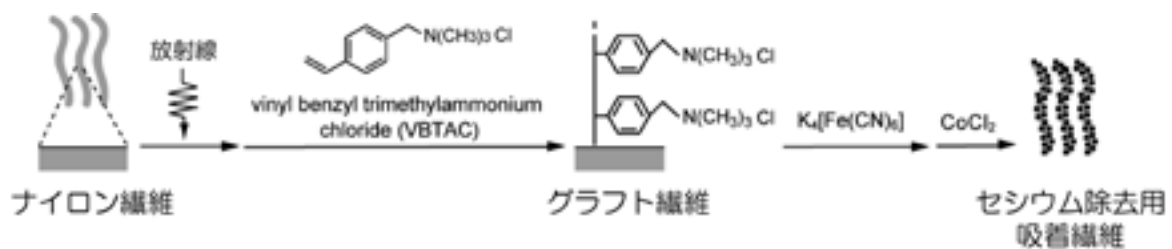


図1 セシウム除去用吸着繊維の作製経路

シウム濃度になるように海水に塩化セシウムを添加した。そのセシウム溶液 10 mL に 0.1 g の吸着材を投入して、十分に接触するようにして (batch 方式で)、セシウム濃度の経時変化を追跡した。私たちが作製したフェロシアン化コバルト (KCo-HCFe と略記) 担持吸着繊維は、30 分の接触時間で検出限界 (0.2 ppm) 以下にまでセシウム濃度が減った。よい結果ではあったけれども、吸着材 (固体) に対する液の重量比 (固液比と呼ぶ、上記の実験条件では、固液比 10 (10 mL/0.1 g = 100、ここで液の密度を 1.0 g/mL とする) を上げても、最終濃度が低くならないと、吸着材として高性能とは言えない。今回、作製した KCo-HCFe 担持吸着繊維を除染の現場に適用しながら、さらに優秀な吸着繊維を作製していく必要がある。

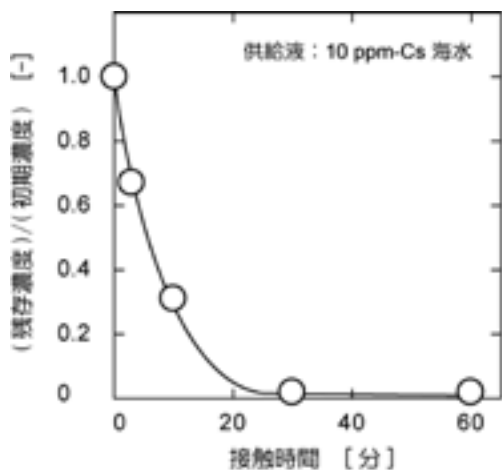


図2 海水でのセシウム濃度の減少

5 おわりに

千葉大学の研究室の学生たちが、セシウム除去性能に優れた吸着繊維の作製レシピを3ヶ月間で仕上げた。私の恩師である須郷高信氏が社長を務める(株)環境浄化研究所 (株)KJK と略記) が、そのレシピを基に、セシウム除去用吸着繊維の作製をスケールアップして工業規模で製造し、さらに実用に適した形状である“組みひも”状の吸着繊維集合体に仕上げた (図3)。そして、この吸着繊維集合体が海へのセシウムの漏出をくい止めるのに、そして、農業あるいは工業用水などの水施設でのセシウムの除去に役立ってほしい。



図3 フェロシアン化コバルト担持繊維の“組みひも”状集合体
(左は石原量君が持つ“ボビン”状、右は岡村雄介君が持つ“組みひも”状の吸着繊維集合体)

ここで紹介した放射線グラフト重合法を適用して、ポリエチレン製多孔性シートを基材としたイオン交換基 (キレート形成基も含む) を固定した、あるいは抽出試薬を担持した固相抽出 (SPE, solid-phase extraction) 材料を完成させている [7] ので、極低濃度の放射性物質の濃縮に利用していただきたい。

(株)KJK の研究開発部長である藤原邦夫氏が実用化へのアドバイスを大学の研究室に当初から与え続け、“基礎”研究が実施されたからこそ実用へと近づいたのだと思う。吸着繊維の性能や物性の評価が不足している。利用してもらいながら調べていくつもりである。ご支援、ご指導をお願いしたい。

謝辞

(株)KJK の研究開発部長でもあり、4月から千葉大学の当研究室の博士課程に社会人学生として入学した藤原邦夫さんから、研究の打ち合わせに集まった私と学生 11 名に対して、“ハドソン川の奇跡”の機長の話が紹介された。その話に続けて「これまでこの研究室で 27 年間、放射線グラフト重合法を使ってさまざまな吸着材を開発してきていると思います。ここで、福島での事故に伴う国難に対して、この研究室が吸着材を作製しようとするなら、なんのためにこれまで研究を継続し

てきたのか私には理解できません」と叱咤激励され、この研究が本格的に始動した。各自の研究テーマをすべて中断して、放射性物質除去用吸着繊維の開発に力を注いだ下記の学生（敬称略）と、他の研究室にも関わらず、吸着繊維の物性測定と貴重な議論をしてくださった当学科の小島隆先生と桑折道済先生に心から感謝申し上げます。日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究部門環境放射線科学ユニットの浅井志保さんから実験の指導をいただきました。また、塩事業センター海水総合研究所の吉川直人氏が濾過海水を小田原から送っていただきました。ありがとうございました。石原量、原山貴登、岡村雄介、内山翔一郎、杉山まい、染谷孝明、天海亘、海野理、小野翼、新出拳、平山雄祥

参考文献

- [1] G. B. Barton, J. L. Hepworth, E. D. McClanahan, R. L., Moore and H. H. Van Tuyl, "Chemical processing wastes: Recovering fission products," *Ind. Eng. Chem.*, **50**, 212-216 (1958).
- [2] 斎藤恭一、須郷高信、グラフト重合のおいしいレシピ、丸善、東京 (2008).
- [3] K. Watari, M. Izawa, "Separation of radiocesium by copper ferrocyanide-anion exchange resin," *J. Nucl. Sci. Technol.*, **2**, 321-322 (1965).
- [4] K. Tanihara, "Selective separation of cesium from strongly acidic nitrate media by repeated use of cupric ferrocyanide-silica gel composite ion exchanger of redox type," *Reports of the Kyushu National Industrial Research Institute*, No. 61, 23-28 (1998).
- [5] H. Mimura, M. Kimura, K. Akiba, Y. Onodera, "Selective removal of cesium from highly concentrated sodium nitrate neutral solutions by potassium nickel hexacyanoferrate(II)-loaded silica gels," *Solvent Extr. Ion Exch.*, **17**, 403-417 (1999).
- [6] R. Ishihara, K. Fujiwara, T. Harayama, Y. Okamura, S. Uchiyama, M. Sugiyama, T. Someya, W. Amakai, S. Umino, T. Ono, A. Nide, Y. Hirayama, T. Baba, T. Kojima, D. Umeno, K. Saito, S. Asai and T. Sugo, "Removal of cesium using cobalt-ferrocyanide-impregnated polymer-chain-grafted fibers," *J. Nucl. Sci. Technol.*, **48**, 1281-1284 (2011).
- [7] S. Asai, K. Miyoshi, K. Saito, "Modification of a porous sheet (MAPS) for the high-performance solid-phase extraction of trace and ultratrace elements by radiation-induced graft polymerization," *Anal. Sci.*, **26**, 649-658 (2010).

特集 (被爆問題)

放射性セシウムによる牛肉の汚染 — 福島第一原子力発電所の爆発事故の影響 —

高瀬つぎ子 (福島大学共生システム理工学類)

1. はじめに

2011年3月11日の東日本大震災に伴う東京電力福島第一原子力発電所の爆発事故(爆発事故)により大気中に放出された放射性物質は、福島県の東部(浜通り地方)および、中央部(中通り地方)の広範な地域に環境汚染をもたらしました¹⁾。その結果、福島県の農業生産物から暫定基準値を超える放射性物質が検出されるという事例も多数報告されてきました。特に、福島県の中央部に位置する阿武隈山系での基幹産業である畜産業の分野(ウシ関連)では、放射性物質による環境汚染の影響を受けて、2つの問題が発生しました²⁾。

- ① 爆発事故直後に発生した、放射性ヨウ素(¹³¹I)による牛乳の汚染。
- ② 2011年7月に問題が顕在化した放射性セシウム(¹³⁴Csおよび¹³⁷Cs)による牛肉(黒毛和種)の汚染。

本レポートでは、放射性セシウムに汚染された牛肉の問題に注目して、①飼料汚染の原因とこれからの対応、②汚染飼料を摂取したウシの体内での放射性セシウムの分布と動的挙動について報告します

2. 飼料汚染の原因とその対応

今回の爆発事故では、放射性セシウムに汚染された飼料(稲わら、牧草、ミネラル(土壌からの摂取))をウシが摂取することにより、牛肉の汚染が発生しました。大気中に放出された放射性物質が、降雨などによって土壌や稲わらなどの飼料に吸着したことに起因する『降下物による直接汚染』と、汚染土壌で生育した牧草が、可溶性の放射性セシウムを吸収したことに起因する『土壌からの間接汚染』の2つの機構によって、ウシ用の飼料の汚染が発生したと考えられます。

『降下物による直接汚染』は、爆発事故直後、多量の放射性物質が断続的に大気中に放出され

た時期(2011年3月下旬まで)に発生しました。放射性物質の降下が観測された期間は、1か月以内の短い期間であったと考えられますが、①放射性物質の降下が広い範囲(北東北から関東までの地域)に及んだことと、②爆発事故直後には、降下物による飼料(稲わら)の汚染が問題視されなかったことにより、汚染稲わら摂取による牛肉の汚染が広い地域に拡大しました。しかし、2011年7月から放射性セシウムを含む稲わら(暫定規制値:300Bq/kg)の出荷制限が行われ²⁾、汚染稲わらの供給が停止されたため、稲わらによる新たな汚染は、防ぐことができました。

一方、放射性セシウムに汚染された牧草地では、爆発事故時、生育していた1番草のみならず、2011年夏から秋にかけて収穫された2番草、3番草からも、暫定基準値(300Bq/kg)を超える放射性セシウムが検出されました。牧草地における土壌中の放射性セシウムは、図1の垂直分布に示すように地表付近に集積しており、リター層(枯草が蓄積した部分:1cm程度)とルートマット層(牧草の根が集積した部分:3cm程度)に、土壌全体に含まれる放射性セシウムの約95%が存在していました。リター層やルートマット層は有機物を豊富に含んでおり、『有機物に付着した

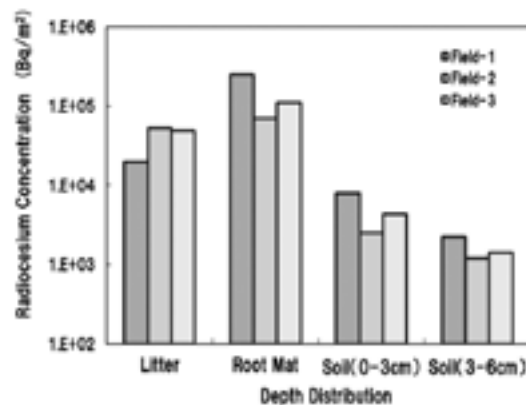


図1 土壌中の放射性セシウムの垂直分布

放射性セシウムが、有機物の分解の過程で可溶性の放射性セシウムとなり、土壤中の粘土鉱物に固定される前に根から吸収された』という可能性も指摘されています³⁾。

現在、汚染された牧草地では、草地更新の際、①汚染されたリター層のみを除去する方式、②汚染されてリター層を含む土壌を反転・耕うん（プラウ・ロータリー耕）する方式などの土壌処理試験が行われ、プラウ・ロータリー耕を行った場合には、表層土壌（0～5cm）中の放射性セシウムが84～95%低減したという結果が得られています。また、2番草収穫後、プラウ・ロータリー耕を行った後、試験的に播種した牧草では、無処理区の牧草と比較して、放射性セシウムが85%低減しました。これらのことから、放射性セシウムを多量に含むリター層と放射性セシウムをほとんど含まない土壌層を混和させることにより、牧草への放射性セシウムの移行を低減できることが、示唆されます。

3. ウシの体内での放射性セシウムの分布と動的挙動

チェルノブイリでの原子力発電所事故以降、ヒツジやウシなど反芻動物の体内での放射性セシウムの分布や動的挙動に関する研究がいくつか行われてきました^{4),5)}、反芻動物の筋肉や血液中の放射性セシウム濃度の動的変化を測定し、コンパートメントモデルを適用することで、体内組織間での放射性セシウムの移行速度や、体内での放射性セシウムの生物学的半減期を推定するという試みも行われてきました^{4),5)}。

しかし、チェルノブイリ周辺とは汚染状況や自然環境が異なる福島第一原子力発電所周辺に生息する反芻動物に、単純に、チェルノブイリでの知見を適用することはできません

そこで、今回、福島県の畜産研究所と共同で、ウシの体内での放射性セシウムの動的挙動を明らかにするために、2つの調査研究を行いました。

『調査研究1』

平衡状態での放射性セシウムの体内分布の測定（検体：警戒区域で汚染された野草を摂取していた黒毛和種の血液や内臓組織）

『調査研究2』

体内での放射性セシウム濃度の動的変化の測定（検体：汚染飼料摂取中止後の牛の血液および尿）

3-1 検体および方法

『調査研究1』では、福島第一原子力発電所から南西方向約20kmの警戒区域（空間放射線量率：1.6～4.8 $\mu\text{Sv/h}$ 、土壌中の ^{134}Cs と ^{137}Cs の合計：300～1800 kBq/m^2 （2011年6月現在¹⁾）で飼育され、爆発事故直後に解き放たれた黒毛和種（成牛20頭、子牛7頭、胎児1頭）の血液、尿、内臓組織（筋肉（大腿部、頸部）、心臓、肝臓、腎臓、脾臓、肺、舌）を2011年9月に採取し、検体としました。

『調査研究2』では、2011年8月より汚染飼料（700 Bq/kg 程度）を持続摂取し、12月に汚染飼料の摂取を中止した黒毛和種（成牛4頭）の血液および尿を定期的に採取し（摂取直後から現在まで）、検体としました。

検体中の放射性セシウムの濃度は、ゲルマニウム検出器（キャンベラ製、相対効率40%）を用いて定量しました。

3-2 結果および考察

ウシの内臓組織中での放射性セシウムの分布を図2に示します（血液中の濃度（平均値：31 Bq/kg ）で規格化）。汚染飼料を摂取し平衡状態に達した後、筋肉組織中には放射性セシウムが血液中の約30倍程度、また腎臓、脾臓、肝臓、心臓の組織

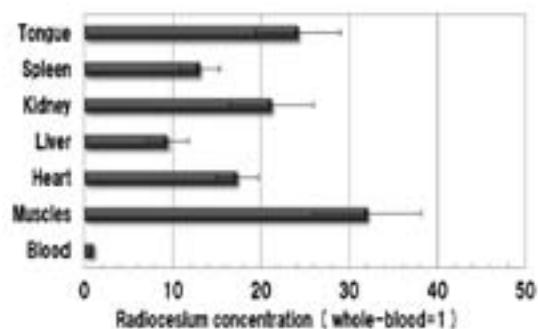


図2 ウシの体内組織中の放射性セシウムの分布

中でも約10～20倍蓄積していることが明らかになりました。もし、ウシの体内での放射性セシウムの代謝がコンパートメントモデルに従うならば（図3）、汚染飼料摂取後の尿中の放射性セシウム

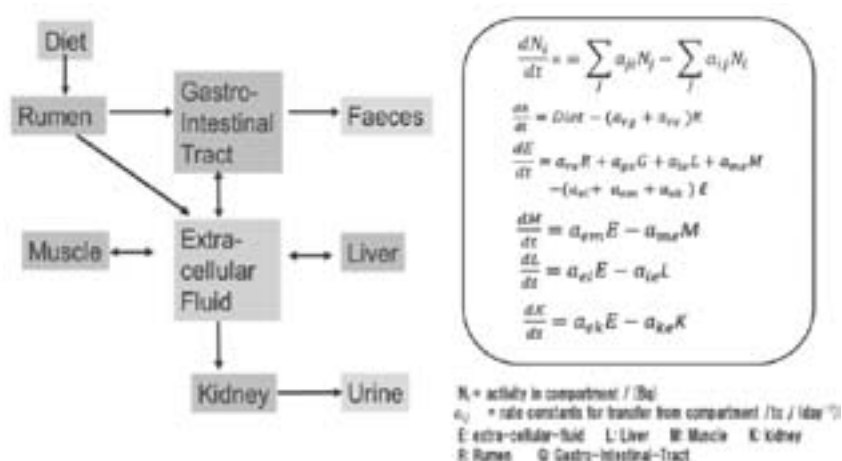


図3 コンパートメントモデル

濃度 (A) は、近似的に (1) 式に示すように、

$$A = A_1 e^{-a_{ku}t} + A_2 e^{-a_{me}t} \quad (1)$$

2つの指数関数(腎臓から尿への移行速度 (a_{ku}) に依存する短い半減期をもつ成分と、筋肉から体液への移行速度 (a_{me}) に依存する長い半減期をもつ成分) の和で表すことが可能になります。

今回、汚染飼料摂取中止後50日までの尿中の放射性セシウム濃度の時間変化を測定したところ、測定結果は、(1)式に従い、短い半減期の成分(半減期:5日程度)と長い半減期をもつ成分(半減期:50日程度)の和でFittingすることが可能でした。つまり、従来のセシウム代謝モデル(反芻動物)と同様に、今回の2つの実験事実からも、『ウシの体内では、筋肉に蓄積した放射性セシウムは、血液→腎臓→尿のルートを通じて、半減期50日程度のゆっくりした速度で体外へ排出される』というモデルと矛盾しない結果が得られました。

4. おわりに

福島第一原子力発電所の爆発事故では、放射性セシウムに汚染された飼料をウシが摂取することより、牛肉(黒毛和種)の汚染が発生し、福島県の畜産業に経済的に大きな損出を与えました。

しかし、事故後1年を経過した今、『牧草地の土壤汚染の低減、牧草中の放射性セシウム濃度の低減に向けた、プラウ・ロータリー耕などを用いた土壤処理試験』や『ウシの血液や尿を用いて、ウシの筋肉(生体中)中の放射性セシウム濃度を推計する試み』、『ウシの体内での放射性セシウム

の代謝モデルを用いて生物学的半減期を推計し、汚染ウシのクリーンアップ期間の決定に反映させる試み』も始まり、福島県の畜産業の復興への一歩が踏み出されつつあります。

5. 謝辞

本研究は、警戒区域に解き放たれた黒毛和種の検体を用いておこなわれました。大切な飼育牛をご提供くださいました畜産農家の皆様に、深く感謝いたします。

また、本研究は、福島県農業総合研究センター畜産研究所と学習院大学・村松研究室、東北大学・大槻研究室との共同で行われました。共同研究者の皆様に深く感謝いたします。

6. 参考文献

- 1) 文部科学省 2011. 文部科学省による放射線量等分布マップ(放射性セシウムの土壌マップ)の作成について. 文部科学省 HP http://radioactivity.mext.go.jp/ja/distribution_map_around_FukushimaNPP
- 2) 農林水産省報道発表(2011年7月13日付)
- 3) 塩沢昌、『第二回放射能の農畜水産物等への影響についての研究報告会』要旨、東京大学農学生命科学研究科 HP
- 4) Crout N.M.J., Beretoud N.A., et.al. *Radiat Environ Biophys.* **35**, 19-45 (1996)
- 5) Galer A.M, Crout N.M.J., et.al. *J. Environ. Radioactivity* **20**, 35-48 (1993)

学会の取り組み

「福島原発事故対策プロジェクト

－放射性核種汚染の調査（データベースの作成）－」の経緯と進捗報告

高宮幸一（京都大学原子炉実験所）

はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の事故によって大量の放射性物質が環境中へ放出された。幸いなことにチェルノブイリ原子力発電所の事故とは異なり炉心そのものの爆発による放射性物質の放出ではなく、（放射化した原子炉構成部材からの放出もあるが）核分裂生成物のうち揮発性の高い物質が主となる放出であったと考えられるため、放射性物質の種類はチェルノブイリに比べると限られている。しかし、今回の事故は放射性物質の放出の規模が大きいことと、放出源が複数存在することなどから、環境中に放出された放射性物質の種類とその分布は非常に複雑な様相を示している。また、事故の直接の原因となった東日本大震災により、事故の直後において発電所周辺のモニタリングポストの一部が稼働しておらず、また、事故時の環境モニタリングを行うべく配備されていたモニタリングカーも想定を超える量の放射性物質の放出により測定車両が汚染され、しかも事故後の燃料不足もありモニタリング活動を行うことができなかつたため、原子炉から放出された放射性プルームを直接観測したデータはほとんど得られていない。このような状況の下で、今回の事故により原子炉内でどのような事象が発生し、放出された放射性物質がいつ、どこへ、どれくらい、どのように飛散し、その場にいた人たちがどの程度被ばくしたのかを評価することはたいへん困難であることが予想される。しかし、この原発事故で何が起こったのかを明らかにし、事故によって生じた被ばくをできるだけ正確に評価・検証することは、我々研究者の義務であり、今後の原子炉周辺地域の復興を着実に進めていくためには必要不可欠なことである。

プロジェクトの目的と経緯

今回の事故の発生後、日本放射化学会に所属している多くの会員によって、様々な環境試料の放射線測定が行われた。事故後すぐに福島へ向かい、現地での測定や試料の収集を行った会員もあった。これは放射性物質が大量に環境に放出されたという事実を前にして、自分たちの所持する放射線測定器や測定技術を役に立てるべきであると判断してのことであったと思う。日本放射化学会からも事故の直後に事務局および会長から環境放射能の測定およびデータ提供の依頼が行われ、多くの会員の賛同を得て協力がなされた。提供されたデータは百島理事がとりまとめを行い、学会のwebページで公表された (<http://www.radiochem.org/kinkyu/index.html>)。本原稿執筆時(2012年3月)において、空間線量に関するデータが2つ、環境試料測定に関しては、大気浮遊塵、降下物、土壌の測定データ報告数がそれぞれ49、13、2となっている。これらの様々な測定結果は、2011年9月に長野で行われた2011日本放射化学会年会・第55回放射化学討論会や、2012年2月に高エネルギー加速器研究機構で行われた第13回環境放射能研究会などにおいて報告された。これらの報告のうちいくつかはすでに論文として報告されており、世界中の研究者に貴重なデータとして提供されている。しかし、学会や研究会などで発表されただけであったり、もしくは公表される機会がないままであったりするデータも数多く存在している。これは測定を行った研究者のすべてが環境放射能研究の専門家ではなく、測定により得られたデータがまとまったものでないことが多いため、学会や研究会での報告は可能であっても得られたデータを解析して何らかの考察や評価を行ったり、それらの結果をまとめて論文として公表することが困難であるためだと考えられ

る。また、もちろん「検出されなかった」という測定結果もあるが、このようなデータは論文として公表することは(特にデータ数が少ない場合は)たいへん困難であることが予想される。しかし、「検出されなかった」という結果もひとつの貴重なデータであり、記録として残すべきデータのひとつである。

そこで、2011年9月に長野で開催された2011日本放射化学学会年会・第55回放射化学討論会において、これらのデータを論文としてまとめて公表をするためのサポートを行うプロジェクトが学会員の有志によって提案された。この提案について討論会の最終日に開催されたアルファ放射体・環境放射能分科会において、放射線医学総合研究所の田上氏からプロジェクトの説明とデータ提供への賛同と協力の依頼が行われ、討論会終了後の10月中旬に理事会にて「福島原発事故対策プロジェクト - 放射性核種汚染の調査(データベースの作成) -」として、日本放射化学学会のプロジェクトのひとつとして認めて頂いた。

本プロジェクトの目的は、日本放射化学学会会員により測定され、提供された測定データを精査した後信頼性の高いデータベースとして整理し、個々の測定データ間の相関を見出すことで、それぞれの測定データを有効なものとし、系統的なデータとしてまとめた論文として公表することである。つまり、現状では測定されたデータのほとんどが独立したものであるため、測定データに対する意義づけを行うことが困難であり、実際に放射性物質による汚染がどのような過程を経て生じ現在に至ったのかを推測することは不可能であるが、たとえ1か所での1回きりの測定データであっても、きちんと精査した後にデータベースとして整理し、放射性物質による汚染の全体像を時系列に沿って、2次元的な(あるいは3次元的な)広がりを持って考察することが可能なデータとすることで、個々のデータを有効に生かすことが目的である。

本プロジェクトは九州大学の百島則幸氏がチームリーダーを担い、データのまとめ作業を徳島大の阪間稔氏が中心となり、放射線医学総合研究所の田上恵子氏、日本原子力研究開発機構の國分陽子氏、本原稿を執筆している京都大学原子炉

実験所の高宮がボランティアベースで行っている。また提供されたデータを評価する際のアドバイザーとして、環境放射能を専門とされている上智大学の広瀬勝己氏と学習院大学の村松康行氏に協力を頂いている(図・上)。まとめられたデータベースはプロジェクトチームおよび投稿者に対してはオープンなものとし、広い視野での議論ができるようにする予定である。プロジェクトの実施期間は2~3年を予定しており、大気浮遊塵、土壌、植物、雨などの試料の測定結果を対象として順次まとめていく計画としている(図・下)。

プロジェクトの進捗状況と今後の予定

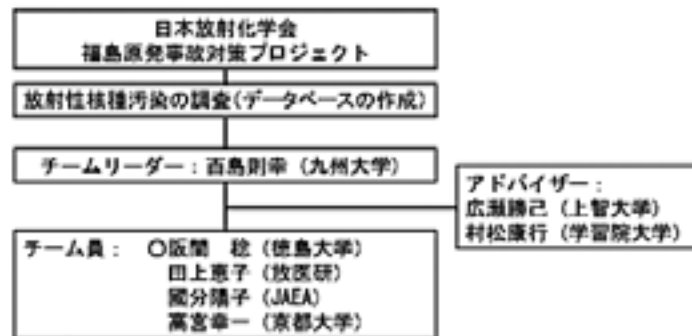
上述の通り昨年10月中旬に日本放射化学学会の福島原発事故対策プロジェクトの一環としてスタートし、会員メーリングリストなどを通じてデータ提供の呼びかけを行ったところ、すぐにいくつかのデータ提供の申し出があった。しかし、データ提供におけるデータフォーマットの整備などが追いついておらず、まだ本格的なデータ収集に至っていないのが現状である。また、測定が継続的に行われておりデータがまとまっていなかったり、特に環境放射能を専門とされている研究者や研究グループでは試料の収集、測定、評価に追われていたりするため、現時点でのデータの提供ができない状況にある。

しかし、国際的にも今回の事故に関する放射線測定や評価に関するデータの収集や総合的な評価が始まろうとしており、原子放射線の影響に関する国連科学委員会(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: UNSCEAR)では事故に関する放射線測定結果などの情報収集を計画されているが、データ収集の対象となるのは基本的に論文として公表されたデータとなるようである。つまり、前述したように様々な研究者や研究グループによって独立に測定され論文としての公表が困難なデータや、検出されなかったといったデータは、評価を行う際に使用されない可能性が高い。もちろん日本国内でこのようなデータをくまなく収集し評価を行うこともできると思うが、第3者的な国際的評価を行う際にも日本国内の研究者が積極的にデータを供出すべきであると考えられる。そのためにも本プロ

プロジェクトを効果的に実施し、大切な測定データをひとつでも多く論文の形にまとめ、多くの研究者に情報提供を行うことが重要である。また、本プロジェクトは日本放射化学会のプロジェクトではあるが、必要があれば他の学会などとも協力しひとつでも多くのデータの収集と記録ができるよう取り組んでいきたい。

多くの皆様、学会のプロジェクトとして認めて頂いた学会理事会、そしてなにより早々にデータの提供に応じて頂きました皆様に感謝致します。また、プロジェクトの学会への提案に際して後押しをして頂いた永目会長にも感謝致します。プロジェクトとして立ち上げた以上はひとつでも多くの成果を残し、将来のために貢献できるように活動をしていきたいと思っておりますので、引き続き会員の皆様のご協力をお願い致します。

最後に本プロジェクトの実施に賛同して頂いた



図「福島原発事故対策プロジェクト -放射性核種汚染の調査(データベースの作成)-」の実施体制(上)と計画(下)

特別寄稿

食品に対する安全基準についての一考察

馬場 宏

はじめに

3月11日に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故以来、我々にはわかに放射能に汚染された状態の日常生活に放りこまれ、食品や飲料水の安全基準値を無視しては生活して行けない事態に追い込まれている。しかるに政府は明確な基準値を示すことができず、その根拠すらあやふやな暫定基準値を振り回しているだけで、“当面健康に問題は生じないが、念のため”とくりかえし、国民の不安と不信を増幅させている。4月以降に食品安全委員会はワーキング・グループを立ち上げて7月までに9回の審議を行い、国内外の放射線影響に関する3300の文献（延3万ページ）を精査して出した結論¹⁾が“生涯累積線量がおよそ100 mSvを超えると健康に影響が見られる”という、すでにこれまでの常識になっている結論を導き出したのみであった。政府が専門家を招集して開催している食品安全委員会が暫定基準値を決めるにあたって拠り所としているとされる文献²⁾を見ても肝心のところは明確に示されていないようである。いつまでも基準値が暫定値のまま据え置かれ、国民の納得の行く説明がなされないのも当然である。

食料基準値を定めるに当たって、国民が不安を持つのは、基準値の値もさることながら、同じ累積放射線量でも瞬間的に被曝した場合と長年にわたって少しずつ被曝した場合でどのように違いが出るのかとか、成人と子供ではどれだけの差があるのかという疑問に定量的な答えが与えられていないことにあるのである。そのような答えを放射線影響学者に期待するとすれば、それは被曝者集団に対する疫学的な追跡調査に限られる。放医研の田ノ岡氏³⁾は、 10^8 Sv/分原爆の線量率を 10^{-8} Sv/分の環境レベルにそのまま適用するのは無理であり、線量効果によるリスク軽減係数を考慮する必要があると指摘している。その上で、

リスク軽減係数はおよそ20に達すると見積もっている。同じく放医研の今岡氏の報告⁴⁾によれば、マウスを使った治験で、卵巣腫瘍の発現の確率の長期的被曝に対する瞬間的被曝の場合の比率は、200 mSvで約3倍、500 mSvで15倍、1000 mSvで5倍、2000 mSvで2倍となっている。また、放射線治療を施す医師の間では、低放射線照射による免疫力増強効果が広く知られており、治療のために高放射線照射を行う前に低線量の全身照射を行うことで、患者の放射線障害のリスクを低減することが試みられている。

一方で、この問題については、放射化学ないし放射線化学者ならば別のアプローチを取ることが可能である。そもそも放射線の正体は高速の電子、光子、ヘリウム原子核などの粒子の運動エネルギーであり、放射線障害の実体はそれら粒子と生体を構成する分子との力学的衝突の結果、分子が受けるダメージに他ならない。このダメージは分子内の結合が放射線粒子との衝突によって切断されることであり、低線量の場合はこのダメージを受けた箇所の密度が低いため、再結合して元通りの分子が再生する可能性が高い。この現象はアニーリングと呼ばれ、放射化学ないし放射線化学ではよく知られている。この効果が核医学でいう所の治癒効果である。これに対して、一度に高線量の被曝を受けた場合には、ダメージを受けた箇所の密度が高くなり、自分自身以外の破片と結合してしまう確率が増加して、障害が残ってしまうことになる。したがって、同じ線量を短時間に被曝する方が危険性が高いと結論される。トータルの線量が増すにつれて両者の差が小さくなることも、長期にわたって分割して照射された場合でも元の分子の再生率が低くなるためとして理解できる。

放射線障害を論じるときの根拠となるデータは広島長崎の原爆の被曝者の疫学調査を基にしてお

り、そこから導かれた安全基準はより安全サイドにおかれていることをまず理解されたい。本稿では、以後この放射化学／放射線化学の論理に基づいた考察を進めることにする。

1. 空間線量率

エネルギーの流れとして見た時の放射線量はグレイ (Gy) という単位で表される。1 Gy は kg 当たり 1 ジュール (J) のエネルギーを運ぶ線量である。この放射線が相手に与える効果は、放射線の種類によって違っており、この違いを考慮に入れた実効線量がシーベルト (Sv) で線量当量率と呼ばれている。すなわち、Sv と Gy との間には

$$Sv = W_R \times Gy \quad (1)$$

という関係がある。 W_R は放射線荷重係数と呼ばれ、 β 線、 γ 線に対しては 1、中性子線に対してはエネルギー領域に応じて 5 から 20 の値を取る。最後に、アルファ線に対しては 20 となる。

1 J のエネルギーを MeV 単位に換算すると 6.25×10^{12} MeV になる。従って、壊変エネルギーが E_d (MeV) である放射能が放射する 1 Gy の放射線に相当する壊変数は、kg 当たり $6.25 \times 10^{12} / E_d$ 個である。我々が求めたいのは、シーベルトとベクレルとの関係であるが、通常の物理量と異なり、シーベルトは単位そのものが変数であることが問題である。シーベルト数という物理量と単位の大きさは逆比例の関係にあり、シーベルト数がグレイ数の W_R 倍になった分だけ単位量は $1 / W_R$ 倍に縮小される。したがって、1 ミリシーベルトに対応する壊変数は

$$A = 6.25 \times 10^9 / (W_R \cdot E_d) \text{ (kg}^{-1}\text{)} \quad (2)$$

で与えられることになる。この A という数値が国際放射線防護委員会 ICRP が勧告する、民間人に対して 1 年間に許容される被曝総量であり、外部被曝線量を考える上での基準値を与える。壊変エネルギー 1.17 MeV のセシウム-137 の場合、1 mSv / 年に対応するベクレル数は 169 Bq であり、 $1 \mu\text{Sv}$ / 時に対応するベクレル数は 1480 Bq である。

2. 食品基準値

次に食品を摂取した場合を考える。食物として

摂取した放射能は、物理的に減衰するか身体から外に排出されるまで体内で放射線を出し続け、継続的な被曝を引き起こす。その積算効果を考慮して、年間許容線量 D mSv に対する食品の基準値を求める必要がある。その基準値を求めるに当たっては、当該食品を毎日同量摂取し続けた場合の総壊変数を求めなければならない。

汚染された食品を摂取し始めた時点で、その食品 1 kg 当たりに含まれる放射性核種の原子数 N_0 に対して、摂取後 1 年間の被曝量は、当該放射性元素が体内で壊れた数 ΔN に他ならず、摂取 1 年目について

$$\Delta N = N_0 f_a \quad (3)$$

ただし一年目に対して

$$\begin{aligned} f_a &= f_a^1 = (\lambda / \Lambda) \Sigma e^{-i\lambda} (1 - e^{-(m-i)\Lambda}) \\ &= (\lambda / \Lambda) [(1 - e^{-m\lambda}) / (1 - e^{-\lambda}) \\ &\quad - e^{-\Lambda} e^{-(m-1)\lambda} \{1 - e^{-m(\Lambda-\lambda)}\} / \{1 - e^{-(\Lambda-\lambda)}\}], \end{aligned} \quad (4)$$

二年目に対しては

$$f_a = f_a^2 = f_a^1 e^{-m\Lambda} + (\lambda / \Lambda) (1 - e^{-m\Lambda}) g_1 \quad (5)$$

ここで

$$\begin{aligned} g_1 &= \Sigma e^{-m\Lambda} e^{-(m-i)\lambda} \\ &= e^{-m\lambda} \{1 - e^{-m(\Lambda-\lambda)}\} / \{1 - e^{-(\Lambda-\lambda)}\} \end{aligned}$$

さらに n 年目のケースに対しては

$$\begin{aligned} f_a &= f_a^n \\ &= f_a^1 e^{-(n-1)m\lambda} + (\lambda / \Lambda) (1 - e^{-m\Lambda}) g_{n-1} \end{aligned} \quad (6)$$

ただし

$$\begin{aligned} g_2 &= g_1 (1 + e^{-m\Lambda}), \\ g_n &= g_{n-1} e^{-m\Lambda} + g_1 e^{-(n-1)m\lambda} \end{aligned}$$

と導かれる。ただし、(4) 式中の和 Σ は i について 0 から $m-1$ までをとるものとする。ここで m は一年の日数 365 である。また λ は日を単位として表した物理的半減期 $t_{1/2}$ と $\lambda = 0.693 / t_{1/2}$ なる関係にある壊変定数と呼ばれる物理量で、 Λ は物理的半減期と生物学的半減期との相乗効果を表す“実効半減期”に対応する壊変定数である。実効半減期は、物理的半減期が生物半減期に比べて遥かに短ければ、前者に近くなり、逆であれば後者に近い値となる。もし両者がほとんど等しければ、実効半減期は両者の半分になる。

許容線量をいくらとするかについては後に考

察するとして、とりあえず1 mSv の内部被曝を引き起こす食品の放射能値を求めることにする。 ΔN がAに等しいという要請から、 $N_0 = A / f_a$ が得られるが、ヨウ素-131のように、当該放射能が特定の部位に集積する場合には、その部位の重量に逆比例してダメージが増幅され、逆にセシウム-137のように全身に分散する時にはそれだけ分散すると考えられる。従って、1 mSv の内部被曝に対応する食品中の放射能値として

$$R_0 = \lambda_s A \cdot M / (w \cdot f_a) \quad (\text{ベクレル} / \text{kg}) \quad (7)$$

がkg当たりの値を与えることになる。ここで、 λ_s は秒単位で表した物理的半減期で、Mは対象となる身体部位の重さ(kg)を表す。最後に、wは着目する食品の一日平均摂取量(kg)である。

今回の福島第一原発の事故に際して、大人はともかく子供たちが受ける被曝の影響が大きく取り上げられ、子供たちに対する許容値を大人より厳しくすべきだという意見が盛んに述べられている。しかしそれではどれだけ厳しい値にすれば良いのかという問いかけに対して定量的な答えを誰も示すことはできていない。被曝という問題を純粹に物理化学現象と捉え、放射線効果の大きさを線量の収束、分散に結びつけた本稿の論理の立て方は、自動的にこの問題に対する回答を与える結果となった。これが妥当であるかどうかは、将来の疫学的な調査によって示されるであろう。

上の(4)～(6)式により、ヨウ素-131に対する f_a の値は一年目は11.1であるが、二年目以降は0である。一方、セシウム-137に対する f_a の値は一年目で2.21、二年目で3.37、三年目で3.44と計算され、四年目以降は下がり始める。実際問題として、同一食品を一年以上摂取し続けるのは極めて特種な場合に限られると思われるが、一応それも考慮してセシウム-137に対する f_a の値を3.4と取ることにする。

甲状腺の重量は、病理学の専門書⁵⁾によれば、1歳の乳児では2.6～2.7 g、10歳の男子で8.7 g、女子で9.6 g、20歳以上の男子で18.8 g、女子で16.8 gとある。ヨウ素の場合は、摂取量の70%は吸収されずに排出され、甲状腺に集積するのは30%に過ぎないというデータ⁶⁾があるのでこれを考慮して成人の平均17gを基準とすると、甲状腺の実効的な質量は57gという値になる。また乳

児に対しては約9g、10歳の児童で30gとなる。

(7)式を用いて1 mSv の内部被曝を引き起こす食品の放射能値をセシウム-137とヨウ素-131を対象として、一歳児、小学生並びに成人について求めた値を第一表に示す。セシウム-137については、Mをそれぞれ10、25、50として計算した。その際に使用した食品の一日平均摂取量については、厚生労働省が発表した統計⁷⁾を参照した。セシウム-137の生物学的半減期は110日⁸⁾とされているので、その値がそのまま実効半減期となる。ヨウ素-131の生物学的半減期は3ヶ月であるので、ヨウ素-131の実効半減期は7.3日となる。また E_d はセシウム-137に対しては1.17 MeV、ヨウ素-131に対しては0.97 MeVという壊変エネルギーの値をそのまま用いることにする。

第1表の結果を見ると、許容線量を年間1 mSvとして汚染食品の摂取による内部被曝を計算すると、許される食品汚染度は相当に厳しいことが分かる。特に乳幼児に対する飲料水の許容汚染濃度はほとんど検出限界に近く、實際上、水は飲むことができなくなりそうである。

新聞に報じられたウクライナとベラルーシの規制値(表中にそれぞれUおよびBと標記)は、食生活の違いから直接比較できないが、我々の計算値と大体同程度であり、両国共、ICRPの勧告値1 mSv/年を基準にしていることが推測される。

3. 許容被曝線量

許容線量を定める際には放射線障害の発現する放射線量の下限值が目安になる。

セシウム-137に代表される全身被曝については、報告されている100 mSvがその目安となる。ICRPが勧告している、平常時における一般人についての1 mSv/年という値は100倍の安全係数を見越した値であり、100年被曝し続けてやっと到達する線量である。

ICRPは、今回のような非常事態の際には事故現場での作業従事者に対しては許容線量を250 mSvに引き上げているが、冒頭で述べたように、これは、瞬間的な被曝と長期にわたる継続被曝の間の最低でも3倍に及ぶリスク軽減係数を考慮す

第1表 毎日汚染食品を食べ続けた場合に1 mSv/年の内部被曝を生じる放射エネルギー。
UとBはそれぞれウクライナとベラルーシを表す。

食 品	一日平均摂取量		1 mSv に対応する放射能 (R ₀)		
			Cs-137 (ベクレル)	I-131 (ベクレル)	
飲 料 水	1 歳児	1.0 L		11	5.2
	小学生	1.65 L		17	10
	成 人	1.65 L	U	34 2	20
			B	10	
乳 製 品	1 歳児	190 g		60	27
	小学生	300 g		95	58
	成 人	90 g	U	640 100	360
			B	100	
野菜・果実・茸	1 歳児	260 g		44	20
	小学生	350 g		82	50
	成 人	430 g	U	130 40	77
			B	100	
穀類・いも・豆	1 歳児	340 g		33	15
	小学生	530 g		54	33
	成 人	580 g	U	100 いも パン 20	57
			B	いも 80	
肉 類・卵・魚	1 歳児	110 g		100	47
	小学生	180 g		160	97
	成 人	200 g	U	280 200	160
			B	牛 500 豚・鶏 180	

注) 1 歳児に対する飲料水の摂取量は推定値

れば妥当な数値と思われる。一方、一般人に対する許容線量も 20 mSv/年 に上げているが、この数値でも、瞬時的被曝との差を考慮すれば、まだ 10 倍以上の安全率が担保されており、放射線障害が発現する可能性はないと考えてよい。日本政府も福島第一原発事故の避難の目安に、この 20 mSv/年 を用いている。ICRP は、この値を基に、任意の 1 種類の食料品に対しての”対策が常に必要とされるレベル”を 10 mSv/年 としている。本稿でも、非常時ということで 10 倍以上の安全率を見て、10 mSv/年 を基準に取ることにする。

食品安全委員会は、食料品に対する許容線量を 5 mSv/年 とした上で、食品を 5 つの群に分け、全許容線量を 5 等分した値を各群に均等に割り振って、各食品に対する許容線量としている¹⁾。しかし、再々述べているように、われわれが 10 mSv/年 という許容線量を採用するに当たっては十分以上に安全率を考慮しており、これ以上安全サイドに偏ることは、必要以上に厳しい制限を課すことになって世情不安を煽り、風評被害を助長する結果になる。そもそも、口にすすべての食品が汚染されているような生活に甘んじるというような事態はありえないのであって、止むを得

ず1群か2群の汚染が問題になる程度であるはずである。従って、ここでは前節の(7)式に与えられた R_0 に $D = 10$ をそのまま乗じた数値が、各食品に対する基準値を与えることにする。

チェルノブイリ原発の事故では、4、5年後から多数の子供達に甲状腺がんの発症が見られているが、彼らは数週間間に数百 mSv 以上の被曝を受けたと推測される。甲状腺がんの発現に対する放射線量の下限值は、200 mSv という報告⁴⁾がある。セシウム-137と異なり、ヨウ素-131の場合、半減期が短いために被曝は事故発生後3ヶ月間に限られるので、安全率を5倍にとって許容線量を40 mSv/年としても十分な安全度が担保されると考えてよい。従って R_0 に40を乗じた数値がヨウ素-131にたいする食料基準値Rを与

えることになる。以上の結果を第二表に示す。

表中、暫定と記した数値は政府が与える暫定基準値である。また、括弧の中の数値は、次節で我々の体内に存在する放射性カリウム-40を基準として計算した放射線量である。

これで見ると、子供についての飲料水と野菜類のヨウ素-131のケースを除いては、本稿で求めた基準値は政府の暫定基準値より大幅に緩やかな値になっている。もし今回求めた基準値が妥当であると公認されれば、世人の食品に対する不安のほとんどは解消されるであろう。

ただ、子供の飲料水についてだけは、母親たちの不安を完全には拭い切れないが、この問題は、水道水を市販のミネラルウォーターで薄めてやることで簡単に解決できる。その場合、水道水の摂

第2表 セシウム-137とヨウ素-131に対する食料基準値。暫定は政府の与える暫定基準値、()内は人体内の天然カリウム-40に準拠した試算値。

食 品	一日平均摂取量	食料基準値 (ベクレル)	
		セシウム-137	ヨウ素-131
飲 料 水	1 歳児 1.0 L	110	200
	小学生 1.65 L	170	420
	成 人 1.65 L	暫定 340 (320) 200	暫定 800 300
乳 製 品	1 歳児 190 g	600	1100
	小学生 300 g	950	2300
	成 人 90 g	暫定 6400 (6000) 300	暫定 14000 300
野菜・果実・茸	1 歳児 260 g	440	800
	小学生 350 g	820	2000
	成 人 430 g	暫定 1300 (1200) 500	暫定 3000 2000
穀類・いも・豆	1 歳児 340 g	330	610
	小学生 530 g	540	1300
	成 人 580 g	暫定 990 (930) 500	2200
肉・卵・魚	1 歳児 110 g	1000	1900
	小学生 180 g	1600	3800
	成 人 200 g	暫定 2800 (2700) 500	6600

取を完全にやめて、ミネラルウォーターだけに切り替えることは、幼児の健康上勧められない。

第2表の結果は大体において妥当なものであり、中でも必要性が叫ばれている乳幼児や児童に対して大人とは異なる基準値を、まさに期待される形で与えることができたことは大きな成果であると考えられる。しかし、チェルノブイリ原発事故では、成人に比べて小児甲状腺がんの劇的な増加が報告⁸⁾されていることを考慮すると、ヨウ素-131の基準値の差が子供と成人の間で更に大きな差が必要であるかも知れないと思われる。本稿で進めた放射線化学的な推論に加えて、成長期の盛んな細胞分裂が放射線に対する感受性を高めるといった生化学的な要素を論理の中に組み込む必要があるのかも知れない。

甲状腺がんについては一般に予後の経過が非常によく、手術さえすれば助かる確率が極めて高いこと⁵⁾が知られている。チェルノブイリ原発事故では約6000人の子供が甲状腺がんにかかっているが、そのうち死亡者は0.25%の15人であったと報告⁹⁾されている。この死亡率の低さは、世の母親たちにとってせめてもの慰めになるのではないだろうか。さらに、日頃から海産物を豊富に摂取している日本人の場合には、甲状腺が非放射性ヨウ素で飽和しているためにがんになる割合がさらに下がることが期待できることも朗報である。

4. 食品基準値を定めるもう一つの考え方

前節で採用した許容線量の正しさを裏付けるもう一つの考え方がある。それは、我々が元々体内に抱えているカリウム-40の放射能のことである。われわれの体内には、同じ程度の炭素-14の放射能もあるが、その壊変エネルギーは最大で0.2 MeVと小さいので無視することにする。結局、前に述べたように、成人の体内では4300ベクレルの放射壊変が起きておりながらなんらの不都合も生じていないのである。

セシウムはカリウムと同族のアルカリ金属元素であるので、両者は化学的性質が似ており、体内に摂取されたセシウム-137は全身の筋肉に分布する点も、体の組織に取り込まれているカリウム-40と類似している。従って、その放射線効果は、

壊変エネルギーの違いを除けば全く同じと考えてよく、カリウム-40の体内存在量を目安にすることには正当性があると言うことができよう。

そこで、このカリウム-40に対する4300ベクレルを安全基準として受け入れることにして、食品に対する基準値を計算してみる。カリウム-40の壊変エネルギーは1.4 MeVほどであるが、その89%は純粹の β 壊変で、壊変エネルギーのおよそ三分の二はニュートリノが持ち去ってしまうので、実質的な壊変エネルギーを0.5 MeVと見積もって計算すると

$$R = 4300 \times 0.5 / (W_R \cdot E_d \cdot w \cdot f_a) \quad (8)$$

という式が得られる。この式に従ってセシウム-137について計算した基準値を表中に括弧にいれて示す。

結果は、許容線量を年間10 mSvとして計算した値と極めて近い値となり、前節で、許容線量として20 mSv/年という値を選択したことと矛盾しない範囲であると考えてよいであろう。

東京電力福島第一原発の事故後、世人の政府、東電に対する不信感が増幅され、被曝レベルについても、“安全である”とか“心配する必要はない”という発信を信用しようとせず、逆に“危険である”という発言を受け入れる傾向が顕著になった。そのため、必要限度を遥かに越えて健康被害に対する懸念が広がる結果になり、風評被害が強まることにも繋がっている。これはまさに自虐的な行動であって、不安を煽り精神衛生上も好ましいことではない。政府もまたしかり、世論に押されて、放射線障害の実態を正しく説明せず、無駄に労力と国費を浪費しているのである。

5. 農作物、海産物に対する安全基準

次に農作物について考える。農作物に対する評価は、収穫時に上の表に掲げた数値が満足される様な土地の表面汚染の値を求めることになる。結果は、地表の許容表面汚染が

$$B = R / (S \cdot f_a f_b) \quad (9)$$

で計算されることになる。ここで、 S は着目する農作物1 kgを収穫するに要する耕地面積 (m^2)、 f_a は地表面に堆積した放射能が土壌中に分散する割合、そして、 f_b は土壌中の放射能が根を通して取り込まれる割合である。

セシウム-137の場合、地表から地下5 cm への移行は10分の1以下であることが見出され¹¹⁾ている。そのことを考えると、十分な安全度を見ても f_d の値を0.1とすれば間違いないと思われる。しかしながら、農作業の場合は作物の作付けをする前に、かならず土地の鋤返しを行うので、人工的に放射能を土中に分散させてしまうと考えるなければならない。鋤返しの深さと作物の根が張る範囲を考えると f_d は0.5程度にとるべきであろう。一方、 f_b については、この割合はかなり小さく、最大でも0.1と見做せば十分である¹¹⁾ことが知られている。

代表的な例として、米と野菜について(9)式を用いてセシウム-137の許容表面汚染を計算すると、仮に 1 m^2 辺り1 kgの収穫があるとして、米に対して1万9千ベクレル/ m^2 、根菜類に対して2万6千ベクレル/ m^2 という値が得られる。むしろこの場合は、農作業の間に作業従事者が呼吸等で体内に取り込んだ放射能の方を問題にする必要が生じるかもしれない。ともあれ、現時点で、特に汚染度の高い地区を除き、福島県の農家に田植えを延期させる必要は全くないことは確かである。今秋、福島、宮城、茨城の各県で収穫した米にほとんど問題になるほどの放射能汚染が見られなかったことは、ここでの結論の正しさを裏付けている。

葉物についてはフォールアウトが問題になるので、 f_d と f_b の代りに洗浄効果をかりに80%と考えて導入すると6700ベクレル/kg、50%でも2600ベクレル/kgとなって、この場合もまず心配する必要は生じないという結論になる。

次に、茨城県で最盛期を迎えているイカナゴ漁であるが、イカナゴの佃煮や、アサリ、シジミを毎日200 gも食べることはあり得ず、摂取量を例えば20 gとすれば基準値は2万8千ベクレル/kgとなって規制は大分緩くなる。恐らく茨城の漁民の皆さんはイカナゴの漁をやれることになるのではと思われる。

最近茨城産や静岡産の茶葉に含まれるセシウム-137の量が基準値を超えているということで出荷禁止となり、処分されることになった。この場合も一日に摂取する茶葉はイカナゴと同じ程度と見るべきで、全然心配する必要はないレベルで

あったと言える。

6. 内部被曝

上に述べてきた論理を推し進めると、汚染された環境で生活している場合の内部被曝についての許容線量を求めることも可能である。ただし、それには環境からどれだけの放射能を取り込むかが分かっている必要がある。この場合の許容汚染濃度を表す式は、環境に対する許容線量 R に対して

$$B = R / (f_a f_s) \quad (10)$$

で与えられる。ここで、 f_s は環境から取り込む放射能の割合で、仮に0.1と取ることにする。この仮定は十分な安全度を見込んだ線であると受け入れられるであろう。

ICRPの勧告の $1\text{ mSv}/\text{年}$ を R に代入して許容汚染濃度を求めると、 $4.1\text{ mSv}/\text{年} = 0.47\mu\text{Sv}/\text{時}$ となる。本稿では、これは成人に対する値であり、1日8時間屋外作業をすとした時の許容汚染濃度は $1.4\mu\text{Sv}/\text{時}$ となる。

一方、体重25kgの小学生については、許容汚染濃度は $0.23\mu\text{Sv}/\text{時}$ となるが、校庭での屋外活動は8時間以内と見積もられるので、許容汚染濃度は $0.69\mu\text{Sv}/\text{時}$ となり、目下福島県が目指している $0.5\mu\text{Sv}/\text{時}$ 以下という数値が達成されていれば、子供の屋外活動にはなんの問題もないと結論される。

福島市内の線量を当局が測った結果、高いところで3ないし $4\mu\text{Sv}/\text{時}$ であったという報道がなされた。現在ようやく伊達市や福島市で除染活動が開始されているが、精々半分程度に線量率を下げるところまでしかできないようである。その一方で、広島例で見ると、原爆投下後まだ2半減期の60年余しか経っていないのに、市内の放射能レベルはバックグラウンド・レベルにまで落ちていることが確認されている。毎日報道されている福島県内の空間線量率を調べても、放射能減衰よりもかなり早い速度で放射能レベルが下がりがつあるのは確かなようである。今後は、それらの事実を踏まえながら除染計画を立て、避難することもできず市内に留まっている人達や遠隔地に避難している人達を助ける方策を講じていくことが望まれる。

7. 結語

以上の結果からみて、農作業や漁撈は大幅に規制を緩めることができるのではと考えられるが、問題は折角そうやって収穫した生産物が売れない、食べてもらえない、買ったたかれるという風評被害をどう解消するかにある。それには、こうやって定めた食品の安全基準値を超えたら危険というのではなく、この基準値を遵守する限り絶対安全であることを徹底すべく大々的なキャンペーンを繰り広げ、同時に、被災地に援助の手を差し伸べる重要な手段の一つとして、被災地で生み出される食品や工業製品を積極的に買い求める運動を繰り広げることでありと考える。風評被害を払拭する決め手は、理論的に裏付けられた基準値を国民に提示し、断固とした態度でそれを徹底させる政府の行動にある。

ここで強調したいことは、放射能は浴びても大丈夫だと言いたいのではないということである。反原発グループの人たちの言を借りるまでもなく、余分な放射能は1ベクレルたりとも浴びるべきではないというのはもっともな心情である。そもそも平常時というのは、管理区域外に人工放射能が放出されていない状態であり、従って食品汚染度は0でなければならないのである。ただ、現実には原発事故が発生し、われわれの周囲に放射能汚染が広がってしまった現状の中で、我々は生きていかねばならないという現実から逃れることはできない。我々が生き残るためには、放射能に対する正しい知識を身につけ、互いに助け合い、安全限界を見極めて、日常生活を送らねばならないのである。

謝辞

放医研の田ノ岡宏、田上恵子両博士には有益な助言を頂いた。ここに感謝の言葉を申し述べさせていただきます。

参考文献

- 1) 食品安全委員会 “放射性物質に関する緊急とりまとめ” 2011年3月
- 2) 須賀新一、市川龍資 “防災指針における飲食物摂取制限指標の改訂について” 解説、保健物理 Vol.35, No.4, 449 (2000)
- 3) H. TANOOKA “Meta-analysis of non-tumour doses for radiation-induced cancer on the basis of does-rate”, Int. J. Rad. Biol. **87**, 645 (2011)
- 4) 今岡達彦 “放射線の生体への影響～福島原発事故のリスクを理解するために～”、福島原発事故特別シンポジウム、2011年日本放射化学会年会、第55回放射化学討論会 (2011)
- 5) 向井清、眞鍋利明、深山正久編「外科病理学」I 第4版、文光堂 (2006)
- 6) 日本原子力学会 “FOCUS 被曝の仕方と人体への影響”、日本原子力学会誌、Vol.53, No.5, 321 (2011)
- 7) 厚生労働相健康局総務課生活習慣病対策室、平成20年国民健康/栄養調査報告、平成23年1月
- 8) ICRP Publication 78: “Individual Monitoring for Internal Exposure of Workers, Annals of the ICRP Volume 27/3-4, Replacement of ICRP Publication 54”, Stratford Books (1998)
- 9) 岩崎民子 “放射線の人体影響についてのQ&A” 日本原子力学会誌、Vol.53, No.8, 55 (2011)
- 10) 長滝重信、山下俊一 “チェルノブイリ事故の医学的影響” 日本原子力学会誌、Vol.53, No.6, 26 (2011)
- 11) 内田滋夫、田上恵子、石井伸昌 “環境に於ける放射性核種の分布と動1. 土壌に於ける放射性核種の挙動特性” 解説、日本原子力学会誌 Vol.53, No.9, 27 (2011)

施設だより(震災から)

J-PARC における共同利用実験再開のお知らせ

二宮和彦 (日本原子力研究開発機構)

三浦太一 (高エネルギー加速器研究機構)

日本原子力研究開発機構と高エネルギー加速器研究機構により、茨城県那珂郡東海村に設置され運営されている J-PARC (大強度陽子加速器施設) は、線形加速器 (LINAC)、3 GeV シンクロトロン (RCS)、50 GeV シンクロトロン (MR) よりなる加速器施設です。平成 21 年度よりビームの利用運転が始まり、大強度の陽子ビームを用いた世界最先端の研究成果が上がり始めていました [1]。しかしながら平成 23 年 3 月 11 日に発生した、東北地方太平洋沖地震において、J-PARC が設置されている東海村も震度 6 弱の揺れに見舞われ、各施設において甚大な被害を受けました。J-PARC では一日も早い運転再開を目指して、職員・関係者が一丸となって復旧作業に取り組み、5 月に目標として定めた復旧工程通り平成 23 年中にビーム調整を開始し、機器の健全性も確認できたために、平成 24 年 1 月からはビームの供用実験が再開されました。本稿では J-PARC の震災による被害について、またその復旧状況についてその概要を記したいと思います [2]。

3 月 11 日は、加速器のメンテナンスのため朝に供用運転を停止していました。大震災の起こった時刻は、LINAC は調整運転の状態でしたが、運転モードの切り替えのためビームは停止していたので、放射能漏れ等はありませんでした。RCS からのビームを利用している MLF (物質生命科学実験施設) や、MR からのビームの利用施設であるハドロン実験施設では、実験準備のため多くのユーザーが実験室で作業を行っていましたが、非常に幸いなことに J-PARC 内では負傷者もありませんでした。東北地方で大きな被害をもたらした津波についても、東海村では約 6 m の津波が押し寄せ、隣接する日本原子力発電東海発電所では、非常用電源が一部破損しましたが、J-PARC は海拔 8 m の位置に建設されていたため、被害を受

けませんでした。加速器の設置されている建物自体は、岩盤まで到達した多くの杭打ちにより非常に堅牢であり、また内部の電磁石や遮蔽体などの主要な機器についても、倒壊などの深刻な被害はありませんでした。しかしながら構内では多くの箇所道路や建物の陥没や沈下の被害を受け、それに伴い給排水管や地下埋設ケーブルの断絶が occurred (図 1)。さらに LINAC や MR ではトンネル内に地下水が染み出し、震災後の停電の影響で排水ができず一部床が冠水しました。



図 1 震災直後の LINAC 棟の様子

震災後、J-PARC では暫くの間、停電、断水が続き、各施設の被害状況の確認にかなりの時間を要しましたが、震災 2 か月後の 5 月には、復旧スケジュールが策定され年内に加速器の試験運転を行うということが決められました (図 2)。その後道路や電源棟などの周辺設備の復旧だけでなく、地盤沈下によりわずかに位置のずれた数百台の電磁石の位置を正確に再設置する作業や、揺れにより動いた遮蔽体を積み直す作業が地道に進められました。たとえば MLF の中性子ターゲットにおいては、合計で 2500 t を超える前置遮蔽体の修復と再設置の作業が 3 か月かけて行われました (図 3)。これらの作業と並行して各種電子機器の通電試験が行われ、当初の計画通りに震災後

J-PARC復旧スケジュール (@2011.5.20)

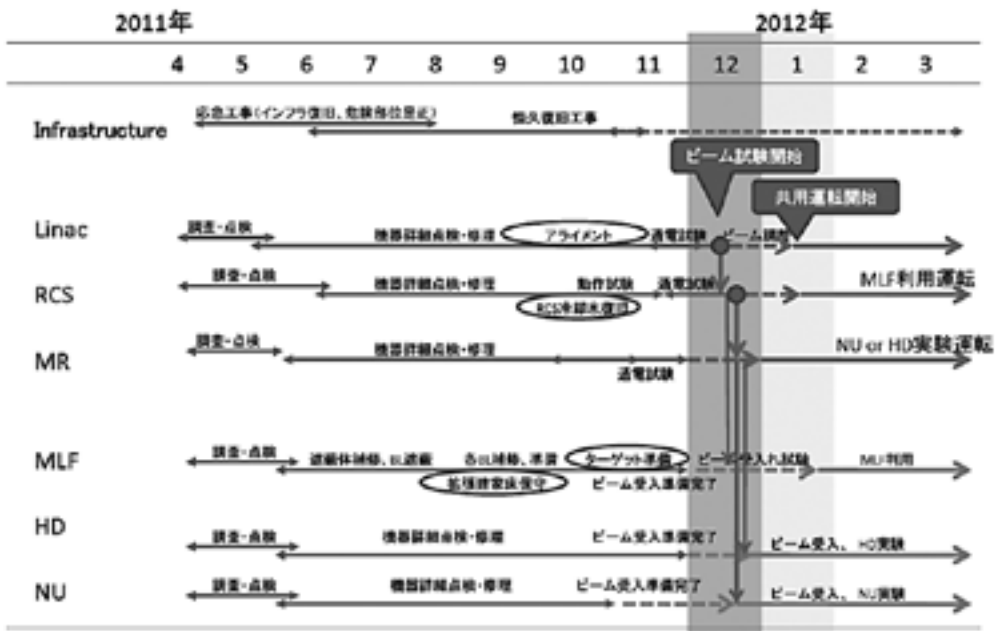


図2 5月20日に策定された復旧スケジュールにおいて、年内のビーム試験開始、1月中の共用運転開始が目標として決定された



図3 中性子ターゲット前置遮蔽体復旧作業の様子



図4 12月9日にLINACでのビーム再加速成功時の記念写真

9か月の12月9日にLINACのビーム試験運転が開始されました(図4)。

平成24年1月24日からはMLFおよびMRでのビーム共用実験が再開されました。MLFでの現在の陽子ビームの出力は震災前の半分強(120 kW)ですが、年度内に震災前の水準(220 kW)の運転に移行する予定です。なお今回は加速器運転再開を優先したために、一部修理が行われていない施設もあります。平成25年夏には、LINACのエネルギー増強の工事が予定されており、その

際に追加の補修を行うことになっています。

またJ-PARCでは復旧作業と並行して、各施設において新たな実験装置の設置等、実験施設のさらなる高度化を目指した活動も進められています。一例としてMLFのミュオン実験施設では、既設のビームラインの上流側に新たなビームラインの建設が行われています(図5)。

以上のようにJ-PARCは震災の被害から完全に復活しつつあります。しかしながら10か月間の共同利用実験の中断を余儀なくされたために、研

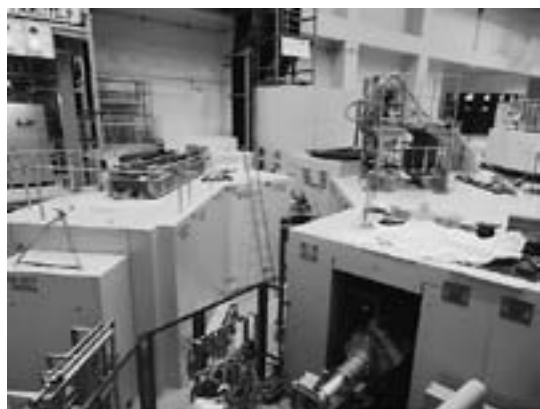


図5 MLF ミュオン施設では既存のビームライン（右）に加えて、新設のビームライン（左）の遮蔽体設置作業が進められている

究成果という観点からは当初の予定から大きく後れを取るようになりました。MLFにおいては、

ミュオン・中性子という本学会員の研究にも関連している粒子が大強度で得られます。これまで J-PARC で実験をされていなかった学会員の皆様も、是非 J-PARC での実験申請を積極的にして頂き、多くの研究成果を発信できるようご協力いただけますようお願いいたします。

参考文献

- [1] たとえば MR のビームを利用したニュートリノ振動実験 (T2K 実験) の成果 (2011.6.15. プレスリリース) は、英国物理学会 Physics World 誌において 2011 年の物理学における 10 大成果の一つに選ばれています。
- [2] J-PARC の最新の復旧状況に関してはウェブサイト (<http://www.j-parc.jp/>) をご参照ください。

施設だより(震災から)

筑波大学タンデム加速器施設の被災状況と今後の計画

笹 公和 (筑波大学 応用加速器部門)

1. はじめに

筑波大学研究基盤総合センター応用加速器部門 (UTTAC) では、12UD ペレトロンタンデム加速器 (12UD Pelletron, 12 MV) と 1 MV タンデトロン加速器からなる複合タンデム加速器施設の維持管理と共同研究の利用支援を行っている。1975年に完成した12UDペレトロンタンデム加速器は、ペレトロン型タンデムとして国内1号機となる大型タンデム加速器である^[1]。ラムシフト型偏極イオン源や高分解能磁気スペクトログラフを備えており、建設当初は原子核実験の利用が中心であったが、現在はイオンビーム分析や高い加速電圧を利用した放射性核種³⁶Clの加速器質量分析 (AMS) での研究利用が増えていた。³⁶Cl-AMSでは、これまでにJCO臨界事故での中性子線量評価^[2]や広島原爆での被ばく線量評価式DS02の検証^[3]、環境モニタリング研究で成果を上げている。しかし、2011年3月11日に発生した東日本大震災において、12UDペレトロンタンデム加速器は本体内部が崩落して使用不能となり、2012年1月を以て放射線発生装置の登録を解除してシャットダウンとなった。加速器更新に関しては、2011年度の第3次補正予算 (復興予算) により、2014年から稼働を開始する6MVタンデム加速器の導入が決定している。本報告では、震災による施設被害状況の概要及び今後の施設復興計画を紹介する。

2. 東日本大震災での施設被害状況

2011年3月11日 (金) に発生した東日本大震災では、茨城県つくば市において震度6弱の強い揺れを観測した。地震発生当時、12UDペレトロンタンデム加速器はターミナル電圧8MVで運転中であり、⁴¹CaのAMS試験測定を実施していた。地震発生中に施設は停電となり、施設内外の状況把握が困難な状況に陥った。夕方までには、施設

内に居た教職員及び学生に人的な被害が無いことを確認できた。震災当日は、強い余震が断続的に発生しており、施設内の被害状況の詳細な確認は出来なかった。

3月12、13日は、施設内部の調査は実施せず、施設外側からの見回り点検のみをおこなった。3月12日 (土) に大学施設部に配電停止を依頼して、復電による事故を防ぐ対応をおこなった。また、学内措置として、加速器施設周辺を立ち入り禁止区域に指定した。その他、文部科学省水戸原子力事務所に放射線発生施設の報告及び茨城県庁に高圧ガス関連の施設報告をおこなった。

施設被災状況の確認は、週明けの3月14日 (月) から開始した。学内は停電及び断水が続いており、トイレ使用や電話連絡も支障がある状況であった。施設居住区への電力復旧は地震発生から4日後の3月15日 (火) となり、上下水道の復旧には約1週間を要した。また、遮へい扉の駆動部の損壊や冷却水配管の破損なども発生し、施設全体の被害状況の把握には約2週間を必要とした。加速器棟エレベーターは、カウンターウェイトの損傷の為に、最終的な復旧は地震発生から2か月後の5月11日となった。表1に3月末までの施設の被災対応状況を示す。

東日本大震災での施設被害状況の概略を図1に示す。12UDペレトロンタンデム加速器は縦型であり、加速器本体は加速器棟3.5階から7階の間に設置されている。建物最上部の高さは約42mである。9階にはイオン源3台 (スパッタ型負イオン源、ラムシフト型偏極イオン源、AMS用イオン源) が設置されている。加速器本体の総重量は、約120トンであり、4階に設置された3か所の支持台で支えられている。各支持台は、下側に100トンジャッキ、横側に35トンジャッキを設置し、2脚の支柱で支える構造である。また、7階には加速器本体の振動防止の為に、横揺れ防止

表1 東日本大震災に係る施設の被災対応状況（時系列）

日時	筑波大学 応用加速器部門	その他
発生 3月11日	○地震発生：直ちに屋外避難、安否確認終了後、通定帰宅	
3月12日～ 3月13日	○施設外部見回り、高圧ガス施設報告(茨城県)、放射線発生施設報告(文科省水戸原子力事務所)	3月12日(土) つくば市 電力復旧
3月14日～ 3月18日	○ライフラインの復旧、被害状況確認 加速器種 状況確認、建物調査、放射線環境モニタリング開始、加速器種立ち入り制限地置	
3月15日	加速器施設 居住区電力復旧 施設被災状況と実験利用の年度内中止案内を応用加速器部門ホームページに掲載	
1週 間 3月16日	高圧ガス施設報告(第2報) (茨城県)、施設被災状況をホームページに掲載	
3月17日	建物内被害状況報告を入学へ提出 加速器施設 分電盤確認、施設電力復旧、上水復旧	3月17日(木) つくば市 上水復旧
3月18日	震災復旧に係る所用電力調査報告の提出 ～3/18 施設立ち入り制限	
3月22日～ 3月31日	○被害状況確認、研究設備の復旧	
3月22日	加速器種電力供給再開	
3月23日	第1次災害復旧費請求書を提出 12D-ベトロン加速器タンク開放による加速器管腐蝕の確認	
3月24日	利用者の実験室立ち入り制限解除、部門ホームページ上で状況報告	
3月25日	資産(有形固定資産・備品等)の被害状況調査を提出 施設冷媒水復旧、クレーン検査	
3月30日	12D-ベトロン加速器タンク固定作業(4月4日まで)	
3月31日	加速器種損壊調査・建物診断	～3/31 学生棟内立ち入り制限

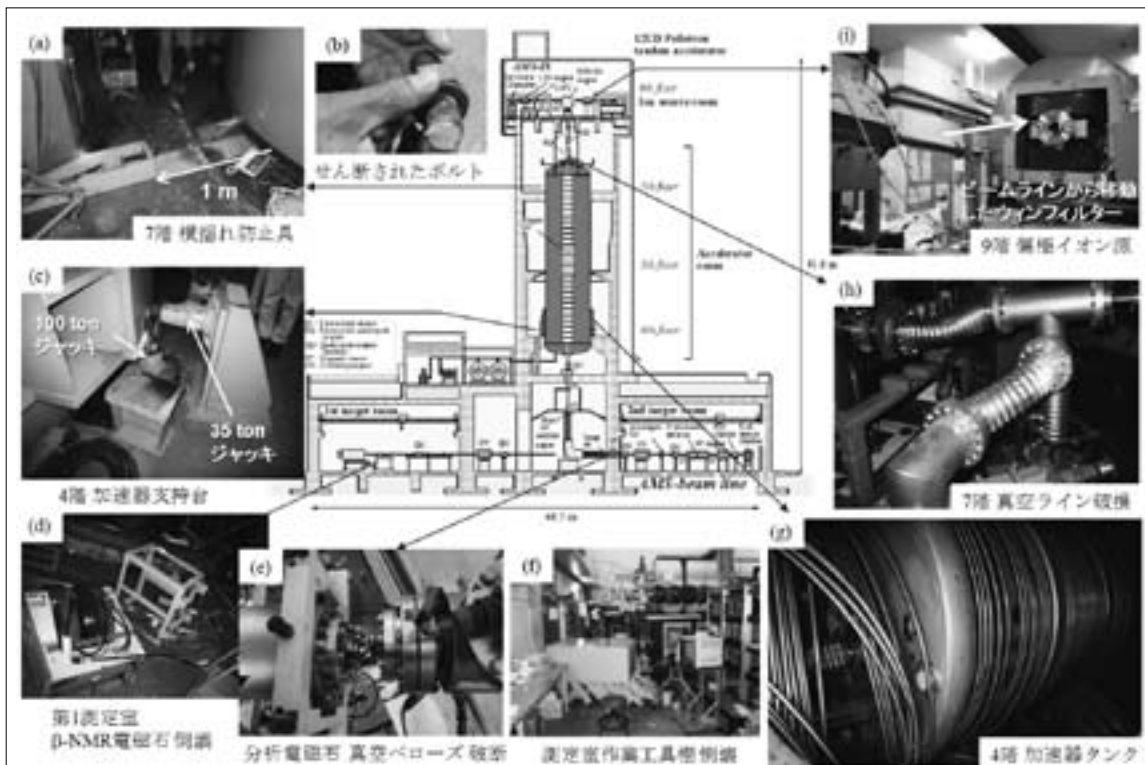


図1 施設被害状況の概略



図2 加速器タンク最上部の第1ユニット取り付け箇所 (2011年3月23日確認)



図3 加速器タンク底に崩落した加速管コラム (2011年3月23日確認)。ターミナル直径は1.8 mである。

具が3台設置されている。横揺れ防止具は、直径1インチの3本のアンカーボルトで床に固定されていた。地震は数分間の横揺れが続いた為に、重心が高い位置となる縦型タンデム加速器には影響が大きいものとなった。7階の横揺れ防止具は、アンカーボルト3本がせん断されて、1mほど移動したものがあつた (図1 (a), (b))。4階の加速器本体支持台の100トンジャッキが加速器より外れ掛かり、加速器本体の下部への落下の危険性が発生した (図1 (c))。9階では、AMS用イオン源と偏極イオン源が壊滅的な被害を受けた。偏極イオン源では、地震によりウインフィルターのアンカーボルトが外れて損傷した。しかし、9階に設置されたクレーン (2トン) の車輪が落下して使用不能となり、直ぐの修復が出来なかった。また冷却水配管が破損して、偏極イオン源は浸水の被害も受けた。余震により3月29日のクレーン修理までに、ウインフィルターはビームラインより1mほど移動した (図1 (i))。加速器本体の前後の真空ライン系も損壊した (図1 (h))。1階でも、電磁石等の重量物間の真空ライン接続ペローズに破損が多かつた (図1 (e))。第1測定室内では、実験準備中の大学院生の横に800 kgのb-NMR電磁石が倒壊したが (図1 (d))、脚立の損壊だけで幸い怪我もなく救助された。その他、測定室内では、高圧ガスポンペ、遮へいブロック、作業工具棚の倒壊が多く発生した (図1 (f))。加速器タンク内部の確認は、3月23日に実施され

た。残念ながら加速器の加速管コラムは、第1ユニット以下の全てがタンク底に崩落していた (図1 (g))。7階の加速器タンクマンホールから撮影された、タンク最上部の写真を図2に示す。また、加速器タンク底に崩落した加速管コラムの写真を図3に示す。

震災時に加速器はフル稼働の状態であつた。施設の復旧作業では、復電前にまず各実験装置の主電源を切り、配電盤の点検・確認作業から開始した。遮へい扉の駆動部の損壊 (図4) や余震等の影響もあり、施設全体の被害状況の把握に時間を要した。復旧作業の安全を確保する為、3月末までに応急的に加速器本体支持台の溶接固定作業 (図5)、9階のクレーン修理 (図6)、建物の診断調査を実施した。



図4 損壊した遮へい扉駆動部 (1階分析電磁石室)



図5 加速器タンク固定作業
(4階支持台の溶接固定)



図6 9階に設置された
クレーン(2トン)
の修理作業

3. 施設復興計画

1階に設置されていた1 MV タンデトロン加速器に関しては、ビームライン等のずれは発生したが、特に大きな問題はなく早期に復旧が可能であった。しかし、12UD ペレトロンタンデム加速器は損傷が大きく、復旧の目処は立たなかった。また、加速器建設時に建屋と同時に組み立てを行っており、加速器修復には建屋構造上の問題も発生した。その為、12UD ペレトロンタンデム

加速器については、2012年1月に放射線発生装置の登録を解除して、正式にシャットダウンとなった。

被災した加速器については、震災後に早急に復興計画を立案する必要があった。最終的には、震災から5か月後の8月初旬に加速器の更新を申請して、第3次補正予算で承認された。更新する加速器は、耐震性を考慮して横置きの6 MV ペレトロンタンデム加速器とした。図7に筑波大学タンデム加速器施設の復興計画案を示す。施設1階

には、 $14.6 \times 23.6 \text{ m}^2$ の測定室が2室あり、このうち第2測定室側の既存ビームラインを撤去して、3台のイオン源とタンデム加速器本体、5本のビームラインを新設する(ビームラインは最大7コースまで)。第1測定室は既存実験装置の継続利用を図り、第2測定室の新規タンデム加速器からのビーム輸送ラインを接続する。第1及び第2測定室間にある12UD ペレトロンタンデム加速器の分

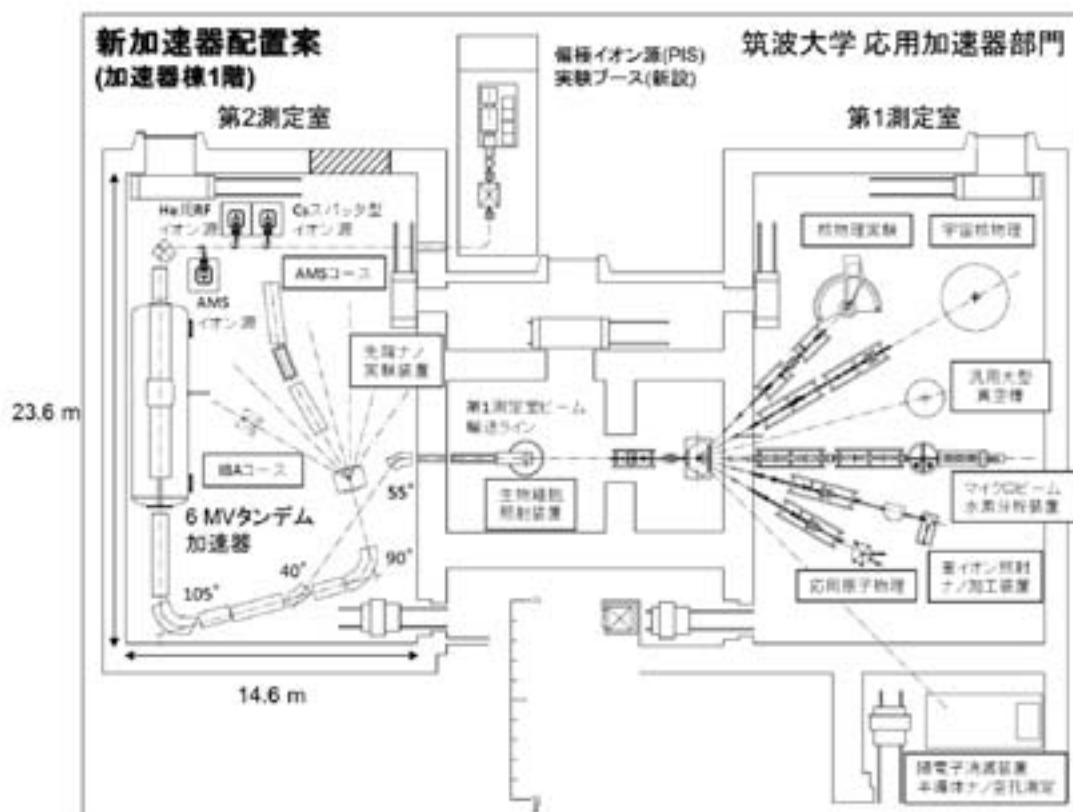


図7 筑波大学タンデム加速器施設 復興計画案 (2014年完成予定)

析電磁石 (200 MeV-amu) は、高精度な上向きのビーム輸送が可能であり、生物細胞照射実験用に残留させる予定である。施設9階の損壊した偏極イオン源は、1階の既存施設の外側に実験ブースを新設して移設する。最高加速電圧はこれまでの半分になるが、測定室に設置できる最大のタンデム加速器及び ^{36}Cl -AMSが実施可能な加速電圧として6 MVを選択した。6 MVタンデム加速器には、AMS専用のマルチカソード型イオン源と質量分析ビームライン及び核種検出用のガス検出器が設置される。国内最大の最新鋭AMSシステムとして、 ^{10}Be 、 ^{14}C 、 ^{26}Al 、 ^{36}Cl 、 ^{41}Ca 、 ^{129}I の核種測定が可能となる見込みである。またゴニオメーターを備えた最新鋭イオンビーム分析システムが設置される。原子核実験での用途についてはエネルギー範囲が限られるが、低エネルギー天体核反応実験や偏極陽子・重陽子による核反応実験に利用される見込みである。その他、つくば地区機関連携における共用施設として、産学連携研究やナノテクノロジー分野での利用が期待されている。

現在、施設の改修工事と既存実験装置の整備・撤去作業をおこなっている。新規タンデム加速器は、2014年9月からの運用開始を予定している。

4. 最後に

震災直後の対応では、危険な状況下において筑波大学応用加速器部門職員の献身的な努力により被害状況把握が的確におこなわれた。今回の震災により、35年の歴史を持つ筑波大学12UDペレトロンタンデム加速器はシャットダウンを余儀無くされた。しかし、新たなタンデム加速器の導入が決定して、総合的なイオンビーム研究利用施設として再出発できる目処がついた。

最後になりますが、震災後に多くの方から温かい励まし及び様々なお気遣いをいただきました。また、震災後の復旧作業には多くの大学関係者、関連業者、研究機関からご支援をいただきました。施設復興中の利用者及び学生の研究教育支援については、日本原子力研究開発機構東海タンデム加速器、東京大学タンデム加速器研究施設MALT、理研RIBF、大阪大学RCNPの各機関からご協力を得ています。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- [1] S. Seki et al., Nucl. Instr. and Meth., 184 (1981) 113.
- [2] R. Seki et al., J. Radioanal. Nucl. Chem., 255 (2003) 245.
- [3] Y. Nagashima et al., Nucl. Instr. and Meth. B, 223-224 (2004) 782.

施設だより(震災から)

原子力機構タンデム加速器 一東日本大震災の被害状況と現状一

長 明彦 (日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所 研究炉加速器管理部 加速器管理課)

原子力機構 20MV タンデム加速器 (以下、タンデム加速器) は、東日本大震災の被害から復旧し H23/9/15 から実験供用運転を行っている。本稿では、タンデム加速器の被害状況ならびに復旧作業、現状について報告する。

日本原子力研究開発機構原子力科学研究所 (以下、原科研) の所在地、茨城県東海村は東日本大震災において深度 6 弱の揺れに襲われた。震災発生時、20MV タンデム加速器は運転中であったが、施設内地震計による自動停止、緊急地震速報の所内放送に合わせたタンク内 SF₆ ガスのビームライン経由の漏洩を防ぐためのガス・コンテインメント・バルブの閉作業等を行った後、建家外に避難した。実験中のユーザーを含め、幸いにも人的被害は発生しなかった。地震直後の点検では、機構内の地震対策として什器の固定などが徹底されていたこと、建家自体が人工地盤の上に建設され比較的揺れが抑えられたことなどの要因で、一部の実験用ラック・ツールボックスを除き機器の転倒はなかった。震災発生後 1～2 週間程度で、原科研内の電気・水等のインフラ復旧が進み、それと並行して施設内インフラ復旧のための点検・被害状況確認を進めた。

被災状況と復旧

震災直後に着手した復旧は以下の 2 点である。

1. タンデム加速器施設は、SF₆ 絶縁ガスを約 50t 使用している。加速器は運転中であったため、ガスは加速器タンク内に充填していた。余震が続いている状況で、ガスの漏洩による施設内での酸欠発生が、施設としての最大の懸念であったため、早急に貯槽にガスを移送し、液化ガスとして安定させることとした。そのため、SF₆ 高圧ガス施設について気密検査・修理等を行い、4/7 までにガス回収を終了した。

2. 今回の地震の特徴として、重量物の被害が大ききことが上げられる。加速器整備用ゴンドラのカウンターウェイトが揺られたことにより、ガイドレールを破損していた。応急的にジャッキ等で固定すると共に、ゴンドラはガス回収後のタンク内点検作業に不可欠であるため、4/15 までに補修を行った。

ガス回収・ゴンドラの補修を行った後、4 月中旬から加速器タンク内機器等の点検ならびに復旧を行った。

1. カラムポスト：タンデム加速器は 1MV 耐電圧層を 20 段積み重ねた構造となっており、各々の層は 12 本のセラミックス製絶縁カラムポストで支持されている。20 段 240 本のカラムポストのうち目視で 33 本にひび割れが確認された。余震による倒壊を避けるため、予備品・新規購入・国内研究機関からの貸与・せん断力テストに合格したひび割れ品の再利用などでカラムポストを確保し、20 本を交換した (図 1)。

2. 免震機構：原子力機構タンデム加速器は、タンク内加速器構造の底部にボールベアリング及びオイルダンパからなる免震機構が設置されている。大震災において、加速器の倒壊をまぬがれたのは免震機構によるところが大きいと考えられる。6 本ある底部脚に取り付けられたボールベアリングのうち 1 つが大きくずれを起していた (図 2)。タンク内の加速器構造全体 (約 30t) をジャッキアップし、免震機構の機能回復を行った。

3. 加速管への SF₆ ガスリーク：地震直後に加速管内は真空劣化を起したと考えられる。タンデム加速器ではタンク内の加速管もセラミックス製であり、その破損が懸念されたが真空リーク

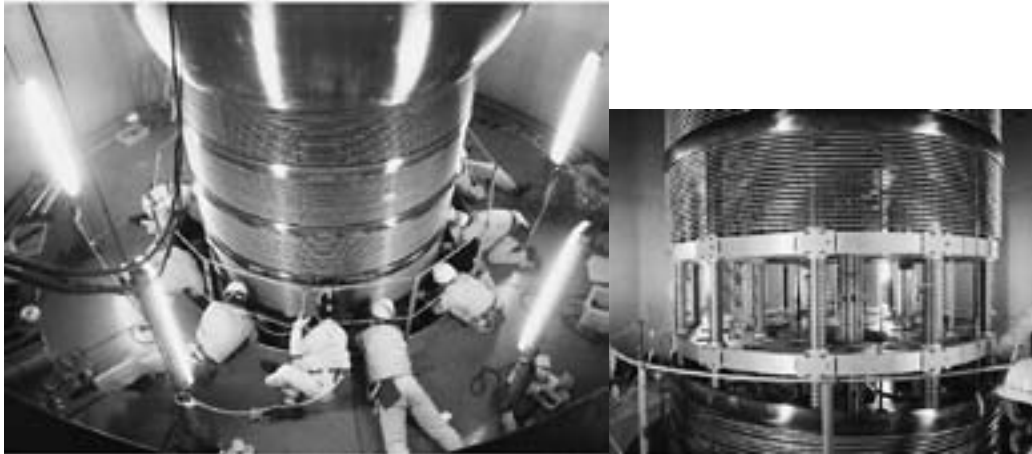


図1 カラムポストの交換作業。

左の写真：カラムポスト交換のためのフープ取り外し作業。円環状のプラットフォームが作業用のゴンドラ。

右の写真：フープを取り外した状態。1段(1MV)は12本のカラムポストで支えられている。

箇所は発見できなかった。最終的に、高電圧端子上に設置した ECR イオン源の入射用加速管、イオン源と真空排気系をつなぐ絶縁管にリーク箇所が発見された。高電圧端子上に増設した ECR イオン源関連の架台が異なる揺れ方をしたことが原因と考えられる。

4. ビームライン等：タンデム加速器のビームを各ターゲット室に振り分けるための電磁石 (35ton) が約 15mm 移動した。磁石内の真空チェンバーは磁石に固定されていないため、ビームラインは破損しなかった。ブースターのエネルギー分析電磁石 (14ton) とビーム振分け電磁石 (21ton) は、架台のアンカーを引き抜き 30 ~ 40mm 移動した。
5. ブースター建家の沈下：ブースター建家は増築建家であり、地震により、タンデム加速器建家との接続部で約 10mm の段差が発生した。2010 年にブースタービームラインの計測を実施しており、ブースター建家がタンデム加速器建家との接続部分に向かって沈降する傾向があることは把握していた。今回の地震で、この傾向を増長したようである。
6. タンデム加速器建家及び建家周りの損傷：タンデム加速器建家のタワー部やターゲット室に

は大きな損傷はなかったが、2階の居室等の壁には複数のひびが入っている。建家周りの地盤は、100 から 200mm ほど沈下した。また、建家の外の階段や、別建家との地下連絡通路などにも亀裂が生じた。建家関係の補修は H23 年度 3 次補正により、H24 年度 12 月までに行う予定である。

運転状況

8 月末までに、加速器の復旧及び通常定期整備時に実施している点検等を終了した。SF₆ を加速器タンク内に充填する際に貯蔵タンク内の液体 SF₆ を気化するための蒸気を供給する原科研のボイラの復旧や、夏季節電対応などを考慮し、9 月 15 日に実験供用運転を開始した。65 日間の実験供用運転を行った。11 月にはブースター加速器の運転も行った。また、実際の運転を通して運転パラメータ等の変化が起きていないかの確認を行った。現状で、最大加速電圧は 17MV であり、大きなアラインメント修正等が必要な変化は確認されていない。今後も、電圧コンディショニングや経過観察を続ける予定である。

12 月 15 日から H24 年 2 月 2 日までの定期整備を実施した。震災との関連は不明であるが、高電圧端子内の発電機へ動力を伝えるシャフトのうち、アクリルシャフト部の偏芯や鉄シャフト部フランジ面の亀裂など、機械的な不具合の対応を通

常の整備に加えて行った。H24年2月13日から5月27日までの予定で実験供用運転を行っている。

今後の計画

福島対応など原子力機構全体の事業見直しが進む中、タンデム加速器ではH24年度から運転体制が縮小され、これまでの年間200日程度の実験供用運転を維持することは難しい。可能な限り利用者の実験申請には応えるよう努力して行くが、ユーザーにも供用運転で発生する消耗品費の負担をお願いしたい。

KEKとの共同研究で実施していた短寿命核加速実験装置については、今年度で共同研究を終了し、装置の撤去がH23年12月末で完了している。撤去後のターゲット室に関しては、近年、需要が増加しているRI・核燃料標的が使用可能なビームライン等の構築を、H25年度当初からの利用開始予定で進めている。将来的には、RI試料のイオンビームによる分析などが必要になった場合に対応可能な施設として整備を検討して行く。また、ターミナルECRイオン源から入射する分子イオ

ンビームの開発を行うと同時に、分子ビーム照射用の垂直ビーム実験室の整備を進めている。これら新たなビームラインの敷設により、今後、施設全体での実験用チェンバーの配置換え、新規実験チェンバーの設置を検討して行く。タンデム加速器は、今や日本で唯一の大型静電加速器であると同時に、米国ORNLのHRIBFの先行きが不透明であることを考えると、世界でもユニークな施設となった。タンデム加速器の高輝度かつエネルギー連続可変の重イオンビーム、さらにRI・核燃料標的の利用といった特徴を活かした研究が今後とも展開できると信じている。震災に耐えたタンデム加速器をぜひ有効に活用してもらいたい。

謝辞

震災による停止期間は、利用者の皆様にはご迷惑をおかけしました。また、復旧において多くの支援や励ましをいただきました。タンデム加速器関係者を代表して、感謝いたします。

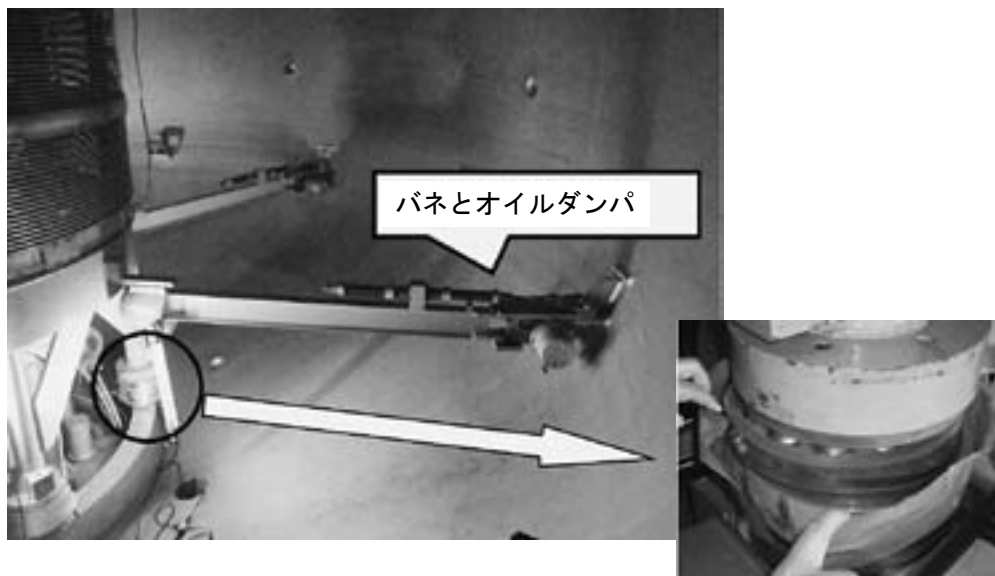


図2 タンデム加速器の免震機構。加速器本体はベアリングの上に設置され、バネとオイルダンパを備えた横からの支柱で揺れを押さえる。右下の写真は、柱の下のベアリング。地震により、ベアリングが柱の中心からずれた。

施設だより(震災から)

東北大学電子光理学研究センターの現状

菊永英寿 (東北大学電子光理学研究センター)

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震から1年が経過しようとしている。当日、東北大学電子光理学研究センター(旧原子核理学研究施設)がある仙台市太白区では震度5強が観測され、当センターも加速器を始め、建物や検出器群等にも大きな被害を受けた。幸いなことに早期復興のための予算が計上されたため、現在は加速器を中心に急ピッチで復旧復興工事を進めている。本稿では当センター加速器設備の被災状況、復旧復興計画および今後の予定について報告する。

加速器の被災状況

当センターの加速器設備は300 MeV電子線形加速器(ライナック)および、それをインジェクターとした1.2 GeV電子シンクロトロン(STBリング)で構成されている(図1)。震災時は300 MeV電子ライナックが稼働しており、RI製造ラインにビームを供給していた。地震発生から

30秒ほど経過した時点で加速器の停止作業を開始し、電子銃のグリットおよび高電圧を通常の手順で停止することが出来た。しかし、地震発生から2分半ほどでセンター全体が停電し、地下の加速器の様子は3月17日の復電まで調査できなかった。その後、徐々に加速器の被害状況の調査を開始し、以下のような被害状況が明らかになった。

- 300 MeV電子ライナック
 - (1) RF伝送用真空導波管の破損
 - (2) 複数箇所亀裂による加速器本体の真空漏れ
 - (3) 冷却水システムの水漏れ
- 1.2 GeV電子シンクロトロン
 - (4) シンクロトロンのアライメントずれ
 - (5) シンクロトロン電磁石電源の故障

特に300 MeV電子ライナックの高エネルギー部の状態は、建設から40年以上経過していることもあり老朽化と相まって深刻な状況である。導波管のロウ付け部から複数箇所大きなリークがあり、2週間ほど真空度が悪化した状態に置かれて



図1. 当センターの加速器と復旧復興計画

いた。既にこの導波管が製造されていないことも考慮すると、復旧することは非常に難しい。また、1.2 GeV 電子シンクロトロンでは電磁石やビームライン等のコンポーネントはしっかり固定されていたため、脱落等は無かったが、遮蔽のために置かれていたコンクリートブロックの一部が電磁石に衝突した形跡があり、再アライメントが必要である。これらを全て元通りに修復するのは、限られた時間と予算内では非常に厳しい。

復旧復興計画

最近の共同利用実験では、低エネルギー (<60 MeV) 大電流電子および 1.2 GeV 電子シンクロトロンによる制動放射光の利用頻度の高かった。これら2種類のビームの早期供給を目指し、以下のような復旧復興を計画している(図1)。まず、300 MeV 電子ライナックからインジェクターの機能を切り離し、比較的被害の少なかった低エネルギー部を利用した大電流電子(RI製造)専用の60 MeV 電子線形加速器にする。これにより、RI製造用の大強度電子ビームラインは震災前のビーム強度を維持したまま、シンクロトロンとは独立した運用が可能となる予定である。同時に1.2 GeV シンクロトロンに電子ビームを入射するための小型の電子ライナックを導入する。ただし到達エネルギーは費用の観点からこれまでよりも低い90 MeVに下げざるをえない。そのため、シンクロトロン電磁石電源の改良を行い、より低い入射エネルギーから1.2 GeVまでの加速を達成できるようにする。残念ながらライナックの高エネルギー部は廃止されるために、それを利用する200 MeVパルスビームやストレッチャー運転モードによる連続ビームの供給は断念することになった。

今後の予定

2011年9、10月に旧加速器解体撤去の前作業として遮蔽ブロックや本計画で廃止されるビームラインの実験設備の搬出を行い(図2)、本年2月からライナック高エネルギー部や入射ビームライン等の解体撤去作業が始まった(図3)。また、



図2. 大型双極電磁石スペクトロメータ LDM の解体



図3. 加速器解体撤去作業の様子

新加速器に関しても既に業者が決定しており、現在、実施設計を検討中である。未だ、加速器解体後の放射化物の保管廃棄場所の確保や法律上の手続きなど課題は多く残るが、大強度電子ビームラインは平成24年7月末に、入射用新ライナックは平成24年11月末、電子シンクロトロンは平成24年12月末に工事終了を予定しており、加速器設備全体としては2012年度中の復旧復興を目指している。

謝辞

これまで多くの方々から多大なる支援・励ましを頂きました。また、共同利用を停止している状況において共同利用者の皆様にはご迷惑をおかけしております。東北大学電子光理学研究センタースタッフは復旧復興に向けて取り組んでおりますので、今しばらくお待ちください。皆様のご厚誼に感謝いたします。

**
**
**
**
**
**

研究集会だより

海外

第65回山田コンファレンス・メスバウアー効果の応用に関する国際会議 ICAME 2011の概要報告 The 65th Yamada Conference & International Conference on the Applications of the Mossbauer Effect (ICAME2011)

野村貴美（東大院工）

ICAMEは1958年のメスバウアー効果発見直後から開催されてきた由緒ある国際会議である。物理学、化学、生物学、地質科学、考古学、物質・材料科学などメスバウアー効果の応用に関連する幅広い研究者が集まるこの会議は1979年に京都で行われ、ほぼ2年ごとに世界各地で開催されてきた。今回、日本では2回目、山田財団のサポートにより2011年9月26日～30日に神戸で開催

された。当初、東京の学術総合センターでおこなう予定であったが、ご存知のように3.11の東日本大震災・福島第一原発事故による関東地区の電力供給不足などの状況から急遽会議場を神戸の国際会議場に変更しての開催であった。

参加者総数が183名でそのうち海外から103名が出席した。結果的には、例年よりも参加者数が少ない会議になったが、ICAME2011組織委員会・委員長吉田豊教授（静岡理工科大学）のイニシアチブで豪華な国際会議が開催された。特にメスバウアー分光法を研究に利用する若手研究者の育成を目指して著名な研究者によるチュートリアルチュートリアルの講義が国際会議の前日の25日に神戸市内の相楽園で開催された。（写真1）講師含めて約40名の参加者でしたが、若手が10名程度しか参加しなかったのは残念であった。同日、夕方にはget together partyがポートピアホテルで開催された。夜の神戸の市街地が一望に見える展望レストランで久しぶりに会う研究者達と楽しいひとときを過ごした。



写真1 チュートリアルの参加者 相楽園の庭にて

会議のプログラムの内容はつぎの通りに分類された。

T0. Tutorials、 T1. Material Research for the Environment、 T2. Advances in Experimental and Methodology、 T3. Theories of Hyperfine Interactions、 T4. Dynamics、 T5. Biological and Medical Applications、 T6. Chemical Applications、 T7. Nanomaterials、 T8. Solid State Physics、 T9. Earth Science, Mineralogy and Archaeology、 T10. Materials Science and Industrial Applications.

この国際会議は、伝統的に一会場で行われてきたところもあり、だれを招待講演者にするかプログラムの準備会議でいろいろ議論された。口頭発表者もできるだけ若手の人を優先して選定された。上記のように分野が多岐にわたるので論文数が均等に集まるわけではないため非常に難しいところもあった。一旦決めても講演者が来られないという返事があり、プログラム担当の瀬戸誠教授(京大)は苦勞されたようである。

9月26日のオープニングセッションは、西田哲明教授(九州近畿大)が司会を務め、ICAME国際委員会の会長D.L.Nagy(ハンガリー・KFKI)、山田財団理事長金森順次郎名誉教授(大阪大元総長)、ICAME名誉会員新庄輝也名誉教授(京大)、組織委員長吉田豊教授(静岡理工大)の順に挨拶がおこなわれた。1961年に31才の

若さでノーベル賞に輝いたR. Mossbauer博士がICAME2011開催前の9月14日に81才でお亡くなりになられたことが紹介された。また、3.11の大震災の影響で会場が移動したにもかかわらず、開催されたことに対する祝辞などが述べられた。

招待講演、一般口頭発表のほかキーノートレクチャー、夕方にはイブニングセッション、スペシャルレクチャーが組まれた。イブニングセッションでは、長年メスバウアー研究に携わってきた研究者から過去の研究と今後の研究についてお話をいただいた。メスバウアー効果は、発見後50年以上経つが、今なお他の方法では得がたい強力な状態分析法である。スペシャルレクチャーは、メスバウアー分光に関係ない講義であったが、海外からの研究者にも福島第一原子力発電所事故の正確な情報を知っていただくことも必要と言うことから企画された。馬場護教授(東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター)にご講演をお願いして実現した。やはり関心が高く、講演が終了した後からも質問が絶えなかった。水曜日の午後は、参加希望者のみの京都バスツアーが組まれた。木曜日の夕方のバンケットでは、吉田委員長の奥さんと奥さんの仲間3人によるピアノコンサートが披露された。

トピックステーマごとに提出された論文の数は、T1、T2、T3の分野で少なく、T6、T7、T8



写真2 ポスター賞の受賞者ともに
左端の2人、小島ポスター賞委員長、吉田委員長、右端、西田副委員長

の分野で多かった。一般申し込みのほとんどはポスター発表であるが、ポスター発表者の中から選ばれた18名が5分間のショートプレゼンテーションを行った。その後ポスター発表は月・火・木曜日の夕方の約2時間行われた。小島憲道教授（東大院総合文化）がポスター賞を企画し、招待者などに採点をお願いして、その結果、東大理の院生山田佳奈さんをはじめ若手の研究者10名が選ばれ、最後の日の閉会式において表彰された。（写真2） クロージングリマークではCampbell（オーストラリア・New South Wales大）が会議中の写真など示しながらトピックスの紹介を行った。閉会式では吉田委員長が感謝の意を述べた。

今回の組織委員長であるS.Music博士（クロアチアのRuder Boskovic Institute）が急病で欠席したのでその代理でMira Ristic博士がICAME2013の開催地の紹介をした。2013年9月1日から6日までの間アドリア海のOpatijaで開催される。ここは、13世紀以前に拓けた中世ヨーロッパ・クロアチアの歴史的な都市である。そのあとICAMEの国際委員会の副委員長Grenecheが2012年11月にコロンビアで開かれるラテンアメリカのメスバウアー国際会議について紹介した。

会議終了後の土曜日にはテクニカルツアーが生まれ、外国人数十人がバスでSpring8を見学された。参加者が例年より少なかったが、海外の研究者にとっては満足の国際会議であったと思われる。

プロシーディング論文は9月1日に締め切れ、会議が始まるまでに1次審査を完了し、その後2ヶ月以内までに修正して提出することになっていたが、結局審査は1月末までにかかってしまったようである。最終的には129報の論文投稿があり、そのうち120報が採択され、9報が不採択および取り下げになった。論文の受理、再提出などにおいてプロシーディング担当の壬生攻教授（名工大）が精力的に貢献した。受理された論文は、Hyperfine Interactionsのインターネットwebに随時掲載され、プロシーディングブックおよび論文として雑誌に3月に発行される予定である。

なお、文中に出てきた組織委員および写真3に示した委員以外に放射化学関係者では松尾教授（東大院総合文化）、中島教授（広島大）、持田教授（神戸大）が組織委員として会議の準備等に活躍された。

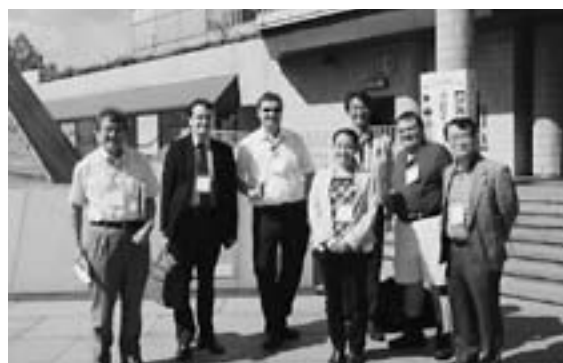


写真3 山田委員、Y.Garcia（ベルギー）、F.Renz（ドイツ）、山田佳奈院生（東大院理）、小林委員、V.M.Reiff（USA）、野村委員

3rd INCCに参加して

宮本ユタカ

2011年9月18日～23日にイタリア・シチリア島で開催されたInternational Nuclear Chemistry Congress (3rd INCC) に出席した。この国際学会の存在を知ってはいたが、参加するのは今回が初めてであった。初回である2005年にトルコ、2008年にメキシコ・ユカタン半島、そして今回

が3回目である。この国際学会は2005年にトルコEge大学Ünak教授が設立したInternational Nuclear Chemistry Society (INCS) の主たる活動の場となっている。今回はミラノ大学とNational Institute of Nuclear Physics (INFN) が学会事務局となって運営しており、Fravia Groppi教授が取り仕切っていた。INCSは、様々な研究分野が一本の傘の下に集まって議論できる場の作成や若手研究者の育成が趣旨のようで、この学会で発表された分野は核化学、地層処理処分、同位体製造、環境放射能、放射化分析、分析技術など多岐

にわたり放射化学討論会と似通ったスタイルだと思った。福島原発事故の影響もあると思うが、環境放射能や放射化分析を含む分析技術に関する発表が目立っていたように思う。核化学関連の発表は少なく、核反応断面積測定が数件あった程度だった。

INCSの集計によれば、約40ヶ国から150名ほどの参加者が集まったとのことである。発表申し込みの締切が何回も延長されたことから、これだけの参加者を集めるのに苦労したと思われる。日本からは自分も含めて5名が参加した。東南アジアやインドからは何名かいたが、中国や韓国からは1~2名で「極東」勢は少なかった。一方、参加者が多かったのは開催国のイタリアを出頭にブラジル、チェコ、ロシアであった。発表件数は168件で、招待講演が20件、口頭発表55件、ポスター発表93件であった。ポスター発表に対しては若手研究者を対象とした優秀賞が設けられていた。最優秀賞は、リン鉱石中のウランの定量及び同位体組成分析について発表したスーダンのポストドクが受賞し、賞金500ユーロと"Handbook of Nuclear Chemistry"が贈呈された。学会会場はパレルモから西に20kmくらい離れたリゾートホテルで、テニスコートやプール、バー、レストラン等が広大な敷地内に備わっており、大半の宿泊客はレンタカーで乗り付けて、夏の終わりのバカンスをのんびり過ごしていた。その中でスーツや靴を履いた我々はかなり違和感があった。敷地はティレニア海の絶景とサボテンしかない荒野に囲まれていて、学会に「集中」するには非常に良い場所だった。

今回、福島原発事故の特別セッションは設けられていなかったが、事故に関係する環境放射能のモニタリング結果発表が多かった。ポーランドやロシア、イタリアなど世界の各地から大気浮遊じんの放射能測定結果が報告されていた。日本からは石巻専修大の福島教授が震災の様子を放射化分析に関する発表の中で触れていた。得られたモニタリングデータを世界地図に時系列でプロットすることで、放射性ヨウ素やセシウムなどが偏西風に流されていく様子が見えるのでは？と思いつきながら興味深くデータを眺めた。ただ、測定結果や測定法が不正確でデータの信頼性に疑問符が付くよ

うな発表もあり、正確な放射能測定が重要であることを再認識した。トルコの学生は、どの市販洗剤が ^{99m}Tc を染み込ませた布を最も効果的に除染できたかを発表していた。実験の進め方や学術的に考慮すべき部分もあるのだが、なによりも本人が楽しんで実験している様子が聴衆に伝わったし、最前列の大先生達に熱心に説明している姿が微笑ましかった。

国際学会の舞台には質の高い研究成果が得られてから立つべきだという考え方を否定はしないが、トルコの学生のように、その舞台にまずは立ち、自分の研究・実験を日本人とは思考回路が異なる人々に発表する経験を積むことが、ますます加速する国際化の波に溺れてしまわないために重要ではないだろうか。

シチリアに来ると3kgは太るとガイドブックに書いてあったが、帰国して体重計に乗ったらまさにその通りであった。昼も夜もパスタと肉か魚のメイン&デザートの日が続いた。昼の一食分が日本での二食分に相当するのであるから、これでは太るのも無理はない。食事が美味しいのはうれしかったのだが、学会後半ではさすがに食事の量を調整した。ポスター最優秀賞を受賞したスーダンのポストドクの学生は、イタリア料理が口に合わないようで「食べられるものがない...」と言いつつ悲しそうにパンを食べていた。ある晩、アフリカ料理「クスクス」が食べられるフェスティバルに希望者が集まって参加したとき、彼は今まで見たことがないような満面の笑みになった。そしてクスクス料理の中身や、どれが美味しいかを我々に語ってくれた。

食事だけでなく物事の進み方も典型的なイタリアンであった。自分が発表し終わると座長から「まだ5分余っている。」と言われて愕然としたり、バスの出発予定時刻から出発するまでに1時間かかったり、チェックイン客が長蛇の列で待っていてもホテルのフロント係はのんびり仕事をしていたり...と、数えたらきりが無い。せっかちで時間に正確な日本人にはこの「不確かさ」(いい加減さとも言えるが)がとてもストレスになる。だが「郷に入っては郷に従え」で、すがすがしい青空と青い海を見ながら「まだ間に合うし何とかなるさ」と、彼らのように心を広く持った途端、

全てが許せて心地よく過ごせるようになった。ちなみに「郷に入っては...」を英訳すると "When in Rome do as the Romans do." だそうだ。ただ、その気分を引きずって帰国すると、今度は分刻みで進む日本社会に復帰できなくなってしまうようである。

第4回のINCCは2014年秋にブラジルでVasconcellos教授が事務局となって開催することである。最後に参加者が心地よく過ごせるようにお世話してくれたFravia Groppi教授ほかミラノ大学の学生さん達に感謝します。



写真 "3rd INCC"と書かれた巨大なケーキをカットする Ünak 会長と Groppi 教授、それを囲むシチリア民族衣装の女性達

4th International Conference on the Chemistry and Physics of the Transactinide Elements (TAN 11) 会議報告

笠松良崇 (大阪大学大学院理学研究科)

2011年の9月5日から11日という日程で、「第4回超アクチノイド元素の化学と物理国際会議 4th International Conference on the Chemistry and Physics of the Transactinide Elements (TAN 11)」が開催された。本会議は4年に一度の割合で開催されており、ドイツ(1999年)、アメリカ(2003年)スイス(2007)に次いで今回ロシアのソチ(Sochi)での4回目の開催であった。また、本会議はその会議名の通り超アクチノイド元素の化学研究と物理研究に的を絞ったほぼ唯一といえる国際会議であり、今回の参加者の人数も88名と比較的小規模ではあるが、超重元素、超重核を対象とした研究にたずさわる者にとっては最も重要な国際会議のひとつである。日本からは12名(原子力機構8名、理化学研究所2名、大阪大学2名)の参加があり、これはドイツに次いで2番目に多く、本研究分野における日本のアクティビティの大きさを示しているといえる。

本会議のトピックスは、

1. 核物理の実験

2. 核分光
3. 核物理の理論
4. 核化学
5. 核化学の理論

であった。招待講演を含めた口頭発表が59件あり、その中にRIKEN、JINR、GSI、GANIL、ORNLの各加速器施設の施設長クラスの方々による少し大きな話題の講演もあった。日本からはRIKENを代表して森田浩介さんが見事な講演をされていた。口頭発表の最初の講演には、2011年がキュリー夫人がノーベル賞を受賞されてからちょうど100年目にあたり国際化学年に設定されていることを受け、特別講演が設けられていた。そのスライドの一枚を写真1に示す。今回の会議の口頭発表を聴いて強く感じたことは、ロシア、アメリカ、ドイツなどの協力で113番元素以降の新元素合成の証拠を得るためにいかに多大な努力



写真1 国際化学年に関する特別講演のスライド

が払われたのか、ということであった。112番元素までの元素はコールドフュージョンによって合成され、既知核である娘核種の壊変の観測による原子番号の確認が軽い物から順々になされ、新元素合成の証明に至ってきた。対して、113番以降の元素はホットフュージョンによって多くの合成の報告がされてきたが、不自然に核反応断面積が上昇する点や娘核種が未知核で終わるため原子番号の証明ができないことが、新元素合成を証明するための大きな問題点として残されてきた。そのような状況の中で今回の会議では、114番を超える重元素の大量の合成結果が報告され、核種ごとの反応断面積の系統性や安定性の系統性にまで議論が及んでいた。また、理論研究でもそれらの系統性の妥当性に対する議論がなされていた。核分光研究においても、115番元素などのX線を測定する計画が発表され、ホットフュージョンにより合成された超重核の原子番号を強く証明する証拠の取得を目指していた。多方面からの多くの実験と議論が一つの目的（新元素合成の証明）に収束している様子を見たという印象であった。その他の講演では、個人的には113番元素の化学実験の提案や、理論家からの約100年の半減期を持つ超長寿命超重核 $^{291,293}\text{Cn}$ の合成の提案を非常に面白く感じた。ポスター発表は約15件、8日の夜間に音楽の催しなどと共に行われた（写真2）。大阪大学の学生である木野愛子さん（M1）が、理論や化学の大先生を相手に必死で英語で説明しようとしている微笑ましい光景をみることができた。彼女にとっても非常に貴重で良い経験になったものと信じている。

日本からは全部で11件もの発表（内ポスター



写真2 ポスター発表の光景

3件)があった。敬称を略させていただいて以下に簡単に紹介させていただくと、理論（発表者：有友、小浦）、核合成（西尾、森田）、化学（永目、羽場、豊嶋、佐藤望、木野、笠松）、核分光（浅井）となり、多岐の分野に渡って研究活動の報告と活発な議論が行われた。特に、溶液化学の分野における原子力機構の綺麗な研究結果が目立ち、世界的にみても最も信頼性の高い結果として認識されていることが示された。また、原子核理論と核分光研究においても原子力機構の独創的な研究とその成果は、大きな注目を集めていた。その他、理化学研究所からは113番元素を含めた超重核の合成研究の目覚ましい成果や今後の化学研究に向けた基礎実験の結果などが報告された。我々大阪大学からも基礎研究の結果を紹介させていただき、激励と優しい方々からお褒めの言葉もいただくことができた。今後の励みにしたいと感じている。

実質6日間の会議は、研究分野を超重元素に限定していることもあり、非常に密度が濃く、充実したものであった。世界における最先端の研究を知ることができ、そのスケールの大きさや最先端を進み続ける研究の展開力に感嘆もしたが、同じ分野の研究者としてとても良い刺激を受けることができた。同時に、日本の研究がいかに精度の良い、卓越したものであるか、ということも再確認することができた。

研究以外の点に関しては、ソチは次期の冬季オリンピック開催地として有名であるように、ロシアの中でも観光地であり、スポーツの盛んな土地であった。実際にホテル内に芝生のサッカー場と陸上競技場（写真3）が設置してあり、我々参加者は、ジャグジーやジムなどの施設と共にこれらを自由に使用することが許されていた。そして、会議の開催時間も13時から16時半までが自由時間となっており、それら施設の利用や、黒海での遊泳、日焼けを楽しめるようになっていた。ただし、日本人は、楽しむよりも逆に自由時間の長さ戸惑う人が多く、「日本人らしいなあ」と感じる面もあった。もう一つ大きな出来事として、参加者が次々と食中毒になって、倒れていくという事件が起きた。幸いホテル内に病院があったため、薬をもらい、1日程度で皆さん回復されていたが、日本人も多く参加者が苦しい思いをすることに



写真3 ホテル敷地内の陸上競技場

なってしまった。私も、同行の学生が倒れたことを受け、少しでも責任を感じ、エクスカーション不参加、という決断を下すこととなった。エクスカーションでは、森田さんや西尾さんらがダンスをしている貴重な光景を目にすることができたく、動画の鑑賞を希望する方は理化学研究所の羽場さんに依頼していただきたく思う。

最後に本会議の次期開催国が日本に決定したことを報告したい。これを良い会議にするためには、日本の超重元素研究を様々な面でさらに発展させていかなければならないであろう。

GLOBAL 2011 - Toward and Over the Fukushima Daiichi Accident -

深澤哲生 (日立 GE)

燃料サイクルと先進原子炉に関する国際会議 GLOBAL 2011 は、東日本大震災及び福島第一原子力発電所事故の影響により、当初予定から3ヶ月遅れの2011年12月11日から16日に幕張メッセで開催された。GLOBAL 会議は、1993年から2年ごとにアメリカ、フランス、日本で開かれている燃料サイクルに関する世界最大の会議で、今回が10回目の節目の大会であった。35ヶ国から516名の参加があり、口頭323件、ポスター113件、計436件の論文が寄せられた。

会議は東日本大震災以降の国内状況に配慮し、スケジュールを当初予定から大幅に変更した。11日夕方のささやかな Welcome Reception から始まり、12日と13日を終日原発事故関連の Plenary とし、14日と15日に平行での口頭発表と Panel、及びポスターセッションを行った。また、16日は場所を敦賀に移し、地元住民が自由に参加できる敦賀セッションとした。

12日の福島原発事故に焦点を当てた Plenary では、田中組織委員長 (原子力学会長) の開会宣言 (写真1)、近藤名誉組織委員長 (原子力委員長) の歓迎挨拶と概況報告を行った。



写真1 開会宣言の状況

また、尾本東大教授 (原子力委員) が事故の詳細分析結果と教訓について講演し、日本、アメリカ、フランス、韓国、IAEA から事故以降の各国の状況変化が報告された。地震と津波、特に巨大津波に対する原子力施設の安全性向上が最優先であること、原子力導入国・導入決定国での状況は大きくは変化しないと予想されること、原子力新規参入検討国は慎重または消極的に対応する傾向にあること、などが共通認識であった。

12日の午後は、日本原子力学会「原子力安全」調査専門委員会の技術分析、放射線影響、クリーンアップの各分科会の活動報告と国内外の諸機関 (東京電力、フランス電力公社、放射線医学総合研究所、IAEA) からの事故に関連する報告があった。また、藤間防衛大教授による地震と津波のメカニズムについての講演とスリーマイルアイラン

ド及びチェルノブイリの原発事故に関する状況と教訓の報告があった。海外の事故事例はどちらも1基の原子炉であり、海水の浸入もなく、福島原発事故の方が重篤であるが、過去の知見を活用して早期の福島復旧・復興に結びつけるべきであると考えられる。

13日のPlenary及びPlenary Panelでは、各国・各機関の燃料サイクル及び再処理/プルトニウム利用に対する取組が、日仏露印、EU、GIF、OECD/NEA、IAEAから紹介された。EUの一部の国（ドイツ、イタリア等）を除いた大部分の原子力先進国は、低炭素社会実現とエネルギー資源確保のために原子力を継続することとであった。また、今回残念ながら来日できなかった中国の代表も、GLOBAL2011の前に上海で開催されたワークショップで原子力継続を言明していた。中国とインドは、壮大な原子力導入計画を有しており、増え続ける人口に見合うエネルギー源として、原子力に大きな期待をかけている。福島原子力発電所事故を考慮した安全性とセキュリティでは継続的な改善・強化が重要、核不拡散のPanelでは地域的・国際的な協力や多国間管理が必要、との結論に至った。

14日及び15日に一般セッションを開催した。最初の2日間を福島原発事故関連の全体会議とし、残りの2日間で口頭発表としたため、11会場に分かれての平行セッションとなった。

類似論文の並行発表や出席者の偏りも見られたが、総じて熱心な発表と活発な議論が展開された。GLOBAL会議の主要トピックである燃料サイクル、再処理、核種分離変換、先進炉、燃料・材料、廃棄物処理・処分などで多くの論文が発表された。また、急遽福島原発事故のトピックを設けたところ、事故分析、汚染水処理等20件の論文が寄せられ、多くの聴衆を集めた。

燃料サイクルについては、FBRへの移行期も含め、使用済燃料貯蔵量、再処理量、回収Pu量、廃棄物量、コスト等の評価及び対応する燃料サイクルシステムの構築が重要である。再処理では、ガラス固化問題を解決した上で六ヶ所再処理工場を稼働させる必要性が議論され、先進的な技術開発の動向が報告された。

核種分離では、クロマトグラフ法の発表もあつ

たが、溶媒抽出法が主流で、中でもジグリコールアミド抽出剤を対象とした研究が目立った。核変換では、種々システム・核データの発表の大部分が机上検討で、今後は実験的評価が重要になると考える。

先進炉に関しては、TRU燃焼を目的とした高燃焼度LWR概念が米韓日からシリーズ発表され、セラミックベース燃料の基本的成立性が示された。また、高速炉の開発状況が日仏露から報告され、小型炉、ガス炉、溶融塩炉の利点・課題について様々な議論が展開された。

燃料・材料では、主に核変換に主眼を置いたLWR、FR（高速炉）、溶融塩炉、ADS（加速器駆動システム）、高温ガス炉用の酸化物、金属、複合燃料など幅広く報告された。

廃棄物処理処分分野では、多くの質疑、複数の学生発表があり、盛況であった。色々なレベル・形態の廃棄物処理・処分の報告があり、種々除染技術について工業化の課題や除染溶媒等の再利用に関し活発な議論が行われた。また、世界的に使用済燃料貯蔵のニーズが増加しており、乾式貯蔵、輸送、臨界評価、核種分析、漏洩・移行についての報告があった。

他の分野では、安全、核不拡散、多国間管理、国際協力、Public Acceptance、人材育成に関して、福島原発事故以降の重要性が強調された。

ポスターセッションでは、100件近くの発表があり（写真2）、厳正なる審査の結果、国内外の7名の若手研究者・学生を表彰した（表1）。

16日の敦賀セッションでは、地元住民や専門家を含む約200名が参加して、世界的なエネルギー展望についての講演とパネル討論を行い、高速炉サイクルの必要性が強調された。また、「もんじゅ」



写真2 ポスター発表の状況

表1 優秀ポスター賞

Computer code development for flow-sheet design and modeling with verification towards a novel partitioning process	Daniel Magnusson (KIT)
A study of highly concentrated fission product salt loading into zeolite-A	James Allensworth (North Carolina State Univ.)
Study on transmutation of long-lived fission product using high-temperature gas-cooler reactors	Hiroyuki Nakaya (Kyushu Univ.)
A flow-assisted electrode reaction modeling for pyroprocess simulation	Kwang-rag Kim (KAERI)
Characterization of precipitates formed in simulated high-level liquid wastes	Ayako Muraio (Tohoku Univ.)
Study on absorption of radioactive iodine in nitric acid solution using Hydroxylamine nitrate	Haruaki Tokuda (JNFL)
Strontium Decontamination from the Contaminated Water by Titanium Oxide Adsorption	Youko Takahatake (JAEA)

の見学会を開催した。

GLOBAL2011 参加者は、Closing (写真3) において、福島原発事故を二度と起こさない決意を新たにし、事故再発防止と原子力継続強化のために、共同声明文を発表した。共同声明文はHP (<http://global2011.org/>) で見るができる。



写真3 Closingでの集合写真

The 10th International Conference on Nuclear Analytical Methods in the Life Sciences (NAMLS-10) 参加報告

古田悦子 (お茶の水女子大学)

NAMLS-10が、2012年1月15-20日にタイの首都バンコクで開催された。オランダのアムステルダムにおいて1967年に開催されたのを皮切りに、5～10年に一度、近年では3年に一度開かれている。筆者は今回が初めての参加になるため、過去の様子は不明であるが、他の国際学会と違ういくつかの特徴がみられた。

研究発表内容を除いて、一番印象に残ったことは、「学生」の参加である。今まで、分析手段としての「核」利用は世界的に低調で、国際会議に出てくる学生数は少ないと感じていたので、意外に多いと感じた。理由の1つに、IAEAおよび主

催組織 Thailand Institute of Nuclear Technology (TINT) の各国への働きかけと、資金面のバックアップがあったようである。このような言い方は失礼かもしれないが、先進国以外の国々からの「先生と学生」の参加が目立った。初日には Young Scientist Award の授与式があり、インド



初日午前の集合写真 (タイの学生さんは受付などで働いてくれていて、この場には居ない)



2日目；エクスカーショで訪れたパタヤ地区のサンクチュアリ；全てが木造で、木彫りが施されていた。25年を経て、なお建造中のため、ヘルメット着用が義務。周囲をゾウに載って見学することも可能

のDr. M. Maitiが受賞特別講演を行った。さらに、最終日には、口頭、ポスターそれぞれの優秀プレゼン賞が発表され、口頭発表ではインドの、ポスター発表では南アフリカの学生に授与された。若手の研究を奨励するこうした取り組みが、中性子放射化分析を衰退させないために、必要なことなのであろう。

もう一つ印象的であったことに、大きな国際会議の場合、オーソリティーが出てきて、その栄光

に繋がった過去の話をする場合が多い。しかしこの会議では、そのような講演（発表）はなく、一様に、自分たちが行っている研究成果を発表し、議論していた。中規模の会議の良さではないかと感じた。今回、直前まで懸念された「洪水」影響のため、参加取りやめも出たようで、参加者は多いとは言えなかったものの、充実した会議であった。

トピックスは、7項目に分かれ、会議名の通り、食品関連、生態系に影響を及ぼす気候変動、農作物の元素分析などのライフサイエンス分野の研究と、福島原発事故についてであった。第一日目に、福島特別セッションが設けられた。これは本学会の趣旨とは若干のずれが有るものの、「今注目の話題」ということで募集が有った。「原発事故」関連の口頭発表は3件のみであったが、ポスターの中には「日本からの食材の放射化分析」や「日本の土壌分析の環境評価」などもあった。

その後、3日目、4日目の15時過ぎからのポスターセッションを含め、トピックス毎に、発表、質疑応答が行われた。アジアからの学生が多かったためか、ヒ素、水銀、カドミニウムによる土壌汚染に関するポスターが多いと感じた。アジア圏での公害問題は、過去のものではなく、現在進行形であることを強く感じた。

蛇足になるが、バンコク市内および2日目にエクスカーショで訪れたパタヤビーチには、洪水の影響を感じさせるものは殆どなかった。寒波で最高気温が6℃の東京と平均気温34℃のバンコクの行き来は大変ではあったが、自然に咲き誇る蘭科の花の美しさと南国のフルーツを心ゆくまで楽しませてもらった。シーフードのワイルドさには、ちょっとついて行けなかったが…



3日目；講演中の海老原先生とつい夢中になって質問した筆者



毎日お腹一杯いただいたケーキとフルーツ



ホテル中庭に咲く蘭



5日目；最優秀プレゼン賞を受賞したインドの学生

国内

2011 日本放射化学会年会・第55回放射化学討論会の報告

村松久和 (信州大学教育学部)

2011 日本放射化学会年会・第55回放射化学討論会は、2011年9月20日(火)から22日(木)までの日程で、長野市若里市民文化ホールを会場として、日本化学会、日本分析化学会、日本原子力学会、日本薬学会の共催を得て開催された。

電力不足や放射能汚染への懸念から、いくつかの学会や国際会議が関東地域での開催を避けたり、中止・延期を余儀なくされたりする中で、幸い長野市が中部電力管内ということもあり予定通り開催された。ただ、原発事故から約半年後、原発事故と放射性物質による環境・食品汚染が国民的関心事になっている中で開かれたため、事故前から構想していた諸企画を変更し、福島原発事故に焦点をあてた企画を中心に据えたものにし、公開にて開催する「福島原発事故特別シンポジウム」と福島原発事故に関連した「特別セッション」を柱にしたものになった。同時に、第63回国連総会における、キュリー夫人のノーベル化学賞受賞から100年目に当たる2011年を国際化学年と制定する決議の採択に基づき、その活動の中心団体となった国際連合教育科学文化機関(UNESCO)と国際純正および応用化学連合(IUPAC)の呼びかけに賛同して発足した世界化学年日本委員会に呼応して、本年会・討論会の2つの企画を、「2011世界化学年企画」を冠して実施された。また、今回の事故を契機に国民的な議論になるであろう原子力発電の是非をめぐって、その議論の前提とも言うべき放射線・放射能に関する科学的な理解をあまねく国民に広める活動、様々な疑問にこたえる活動、放射線・放射能による健康への影響を可能な限り低く抑え、風評被害をなくすための活動などと関連させながら、「放射線教育」の現状と今後の課題についての発表も特別セッションに含められた。

「2011世界化学年企画・特別セッション」は、

放射線教育、原発事故関連のモニタリング、学協会横断の連携活動を柱に、それぞれの依頼講演と研究発表(合計24件)から構成された。第一日目の午後から、専門領域での研究発表に並行して、原発事故関連のモニタリングを中心にした研究の口頭発表が行なわれ、午後の1時間弱を使ってポスター発表が行なわれた。(写真1参照)第一日目の午前中には、放射線教育にテーマを絞ったの研究発表がされ、小中・高校から2件の研究発表があった。午後のセッションでは3名の講師による依頼講演があった。「科学としての放射線教育を」と題して、東北放射線科学センターの工藤博司先生が講演され、放射線について間違った情報が流され、国民に混乱が巻き起こっている中で、「科学を知って判断力を養う」との立場から放射線教育のあり方についての提言がなされた。「福島県における東電原発事故への対応：緊急時モニタリング」と題して、福島県災害対策本部原子力班の水野哲氏に現場からのリアルな報告をしていただいた。さらに、首都大学東京の海老原充先生から、「福島原子力発電所事故後の学会の対応－連携の重要性」と題して、事故後に素早く動き出した種々のプロジェクトや他学会等との連携活動について報告があった。炉心溶融事故による大量の放射性物質の放出と拡散によって深刻な汚染が拡大し、全国の様々な試験・研究機関で放射能測定が進められている状況下、数ある学会の中で、本年会・討論会がこの問題に関する科学的なデータと得られる知見を持ち寄り議論する最も適切な場として「特別セッション」を設けたことには大きな意義があった。

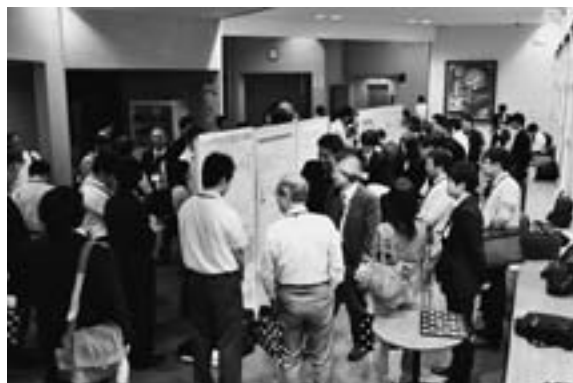


写真1 「2011世界化学年企画・特別セッション」ポスター発表風景

また、第一日目の午前中には、信州大学教授・信州大学カーボン科学研究所長の遠藤守信先生による、「ナノカーボンの基礎科学と応用 ～グリーンイノベーションに向けて～」と題する先端科学の現状について特別講演があった。

第二日目の午前中には、本学会年會・討論会では初めての試みとして、「2011 世界化学年企画・福島原発事故特別シンポジウム」が一般市民に公開するかたちで開かれた。(写真2参照) 最初の講師として登壇された京都大学原子炉実験所の山名元先生には「福島原発事故の経緯と現状」と題して講演していただいた。東京電力、政府、原子力安全・保安院などから公表されている以上の詳しい経緯と状況が述べられ、あらためて現状の厳しさを認識させられた。続いて、「放射性物質の環境での挙動と飲食物への移行」と題して、学習院大学の村松康行先生が、原子炉から環境中に放出され拡散した放射性物質の挙動と移行について、国内における状況に加えて、チェルノビリ原発事故におけるヨーロッパ各地での例も引きながら講演され、今後の監視的な研究活動の重要性について話された。3人目の講師として、放射線医学総合研究所の今岡達彦先生には、「放射線の生体への影響～福島原発事故のリスクを理解するために～」と題して講演していただいた。ご専門の発達期における被曝影響研究から明らかになってきて

いる知見をもとに、原発事故によってもたらされた外部被曝、内部被曝によるリスクについて、科学的、論理的で、明解なお話をしていただいた。特に低線量域の被曝とリスクの関係について、何処までが分かっている、何処から先がよく分かっていないのかが理解でき、参加された一般市民にも明快で分かりやすい講演であったと同時に、会員にとっても今後の教育・啓蒙活動に生かせる講演であった。ウィークデーの午前中に開かれた公開シンポジウムということで、一般市民にとって参加しにくい時間であったにもかかわらず、子どもをもつ母親、議会議員、医師、地方公務員、学校教員、食品関連の会社員、ジャーナリスト、大学教員など、104名の市民の参加があった。以下に、アンケート(回収37名)の意見・感想欄への記述のいくつかを、原文に近い形で箇条書きにして紹介しておく。(カッコ内は、年齢、居住地、職業、シンポの情報源など)

- ・一般の情報とはちがう確かなはなしありがとう。(33歳・市内・新聞記事)
- ・福島原発事故の内容と健康へのリスクの問題がよくわかりました。(74歳・市内・会社員・新聞記事)
- ・正確な情報の伝達が一般に不十分だと思います。このような機会を増やしてもらいたいと



写真2 「2011 世界化学年企画・福島原発事故特別シンポジウム」 会場風景

- 思います。(38歳・市内・会社員)
- ・公開はよい企画だと思う。(46歳・県内・地方公務員・ポスターと新聞)
 - ・良く理解できた。もっと長い話を聞きたいと思いました。ありがとうございました。(40歳・市内・会社員・機器購入業者)
 - ・専門的な話を聞く大変貴重な場を頂きありがとうございました。もっとじっくり話を聞き質疑がとれるとよかったです。ありがとうございました。(39歳・市内・高校教員・所属学会)
 - ・難しい内容をわかりやすく丁寧にお話いただき大変有意義であった。一般公開に感謝します。…以下略(60歳・市内・自営業・新聞記事)
 - ・諸先生方の御講演は素人の私にも大変わかり易くてとても勉強になりました。今後正しい情報を届けて頂きたいと思います。…中略…原発は地震国日本には不要と考えます。(71歳・市内・主婦・新聞記事)
 - ・専門的な言葉も多かったが、非常に参考になった。一般公開していただけてすごありがたかった。今後の住民へのせつめいに参考になった部分が多かった。ありがとうございました。(46歳・県内・地方公務員)
 - ・実家が福島市です。弟の家族が5町歩の果樹園農家です。…中略…生産者と消費者のネットワーク作りと放射線の正しい理解。一人一人がもっと関心を持つべきです。福島の人達の為に御活やく下さる事を心からお願いします。…以下略(66歳・市内・無職・新聞広告)
 - ・難しい話、わかり易い話、様々でしたが、いずれもタイムリーな講演で、大変興味深く、かつ、大変有意義なお話でした。学会というのは、一般の人には別世界のことで、「日本の叡知に」に触れる機会がないが、今回の公開シンポでは、智の最先端を共有することができ、素晴らしい企画でした。国民の学会への関心と共感を高める効果も極めて大きいと思います。今後も、毎年、各地で学会を開かれる際、公開シンポを開催されることは非常に有意義であると思います。(70歳・市内・ジャーナリスト・新聞広告)
 - ・一般的に放射線に対する知識が不足しているため、放射線による人体への影響を過度に心配している方が多く、対応に苦慮している。今回のシンポジウムのように専門的な知識を有する先生方により、正しい知識を発信する機会を数多く設けて、住民の不安解消に更なる尽力をお願いしたい。(48歳・市内・県教委職員・シンポの後援依頼)
 - ・一般公開していただき、市民にシンポジウムへの参加を認めていただいたこと、ありがとうございました。…中略…まだまだ理解を深めたいし、周りのお母さん仲間と共に今回の原発事故に対して勉強していきたいと思いました。(46歳・市内・主婦・新聞広告)
 - ・(前略)内部被曝、食物連鎖の話がもう少し聞きたいと思いますが、時間が足りなくて残念です。(51歳・市内・医師・新聞記事)
 - ・わかりやすくご説明いただき、理解が深まりました。今後の生活上大変参考になる内容でした。(47歳・市内・議会議員・新聞記事)
 - ・(前略)正しい知識を身につけ、身のまわりの様々な多くの情報が本当に正しいのかが自分自身で判断できるようになりたいと思いました。(21歳・市内・学生・ポスター)
 - ・福島の事故の経緯を詳細に知ることができて良かった。質疑応答の時間をもっととり、専門家の方達の今後の活動、政府への提言などについて意見交換を聞きたかったと思います。…以下略(33歳・市内・テレビニュース)
- 総じて、2011日本放射化学会年会・第55回放射化学討論会は、原発事故とそれに伴って環境中に放出された放射性物質の拡散とそれによる被曝についての多くの国民の関心事に機を失することなく応えるものであった。また、本会の「核化学・放射化学に関連する基礎および応用研究の発展と教育に寄与し、関連分野の研究者相互の連絡をはかること」という目的に沿い、放射能および放射線教育の普及活動を積極的に支援する活動にも力をいれているという本会の存在をアピールした年会・討論会でもあった。

KUR 専門研究会「不安定原子核の理工学と物性応用研究」報告

久富木志郎

(首都大学東京大学院理工学研究科)

平成23年12月21、22日の二日間にわたり、京都大学原子炉実験所において平成23年度KUR専門研究会「不安定原子核の理工学と物性応用研究」が開催された。1日目は午後のみ9件、2日目は14件、合計23件の口頭発表が行われた。発表時間は15分、質疑応答が5分の合計20分で各セッション3件ずつに区切られ休憩時間が長めに設けられていた。本研究会を取り仕切られた大久保嘉高、小林義男両先生のご配慮で質疑応答の時間が長くなることを想定したプログラム構成となっていた。発表テーマの内訳は μ SRなど加速器を用いた研究に関する発表が7件、時間微分型ガンマ線摂動核相関法(TDPAC)を用いた物性研究が2件、メスバウアー分光法を用いた物性評価構造解析に関する研究発表が14件であった。測定対象となる物質は錯体、鉱物、酸化物、ガラスとこれまでの研究会で報告されているものと同様、多岐にわたっていた。講演に先立ち、はじめに研究会をお世話いただいている大久保嘉高先生よりご挨拶があった。本研究会は来年度で20回を数え今回は特別セッションとして京都大学原子炉実験所の現状と将来像を検討するセッションを2日目に予定しているとのアナウンスがあった。以下に全口頭発表の講演題目、発表者名(敬称略)、所属を示す。

口頭発表題目・講演者リスト

<12/21 1日目 午後の部(13:30～18:00)>

- 1) μ SR法を用いたNiTi合金のマルテンサイト変態の研究(二宮(阪大院工))、
- 2) 核プローブとしての高偏極 ^{12}N ビーム生成テスト(三原(阪大院理))、
- 3) 低圧酸化窒素への負ミュオン捕獲過程の研究(二宮(JAEA))、
- 4) 集積型錯体のメスバウアー分光法による研究(中島(広大N-BARD))、
- 5) 耐水性に優れた新規導電ガラスのメスバウアースペクトル(西田(近大産理工))、
- 6) 希薄磁性酸化物の核共鳴非弾性散乱測定とメ

スバウアースペクトル(野村(東大院工))、7) 酸化亜鉛中の不純物Alの存在状態(小松田(金沢大院自然))、8) Inドナーをドーピングした酸化亜鉛の電気伝導度と局所構造(佐藤(金沢大理工))、9) 短寿命 β 放射核 ^{28}P の電気四重極モーメント(日中共同、現状)(南園(福井工大))

<12/22 2日目 午前の部(9:30～12:00)>

- 1) 鉄蒸着の磁気配向(山田(東理大))、
- 2) 三核カルボン酸鉄錯体における原子価デトラッピングのメスバウアー分光的研究(酒井(大同大))、
- 3) Sm充填スクッテルダイトのゲストモード(筒井(JASRI/SPring-8))、
- 4) ベルダジルラジカルが配位したFe(II)錯体の結晶構造と異常なメスバウアースペクトル(亀渕(東大院総合))、
- 5) 直線二配位鉄錯体の内部磁場研究(II)(小林(理研))、
- 6) LiHの $^{57}\text{Mn}/^{57}\text{Fe}$ インビーム・メスバウアー分光(宮崎(日大生産工))

<12/22 2日目 午後の部(14:00～17:15)>

- 7) ISOLDE / NICOLEの現状(大坪(新潟大理))、
- 8) 低エネルギー核反応による ^{29}P 偏極生成(矢口(阪大院理))、
- 9) ^{28}P のQモーメント(松多(阪大院理))、
- 10) トリクロロエチレン分解作用を有する磁性体のメスバウアー分光法によるキャラクターゼーション(久富木(首都大院))、
- 11) マンガンイオンで置換したバナジン酸塩ガラスのメスバウアースペクトル(増田(首都大院))、
- 12) 元素分析とメスバウアー分光法によるコンドライトの分類(岩沼(首都大院))、
- 13) ホフマン型スピントクロスオーバー錯体の置換基による制御(北澤(東邦大理))、
- 14) 強磁場下メスバウアー分光と短寿命線源メスバウアー分光の現状(北尾(京大原子炉))

特別セッション

<12/22 2日目 午後の部 京都大学原子炉実験所の現状説明と将来計画・KUR活性化等に関するミーティング(13:00～14:00)>

このセッションでは、本研究会への参加者に対して京都大学原子炉実験所(KUR)の現状説明と将来の活性化に向けた意見聴取が行われた。谷口氏、谷垣氏(いずれもKUR)の主旨説明によるとKURの提案した課題「複合原子力科学の有効利用に向けた先導的研究の推進」が高い緊急度

で日本学術会議によって採択され、2010年から10年間にわたり98億円の予算をかけて原子力・放射線を利用した研究を推進することになるが、中長期的な展望・計画を持って予算申請を行う必要がある。そこで、日頃同実験所を利用している我々に対して、現利用法を踏まえKURでの研究を活性化するための方策について意見を欲しいということであった。研究会の中では参加者からは具体的な意見や希望は上がらなかったが本研究会後も大久保嘉高先生が窓口となりメール等でご意見を受け付けられるとのことであった。

雑感

本研究会の冒頭で大久保先生が来年で20回目を迎えると仰せられたとき、この研究会の歴史を感じた。大学に戻り、一番古い専門研究会報告書を探すと平成6年度のものが見つかった。私も学

生の頃から参加させていただいており、その当時が懐かしく思い出された。その当時も研究対象となる物質は酸化物、錯体、ガラスで最近のものと同じであったが、それぞれの分野において時代を経て様々な新しい知見が得られており、放射線、放射光を用いた物性研究には限りない将来性を感じた。KURも変革の時を迎え、新しい研究計画およびテーマを積極的に受け入れるということなので前向きに様々な可能性を追求していきたい。

本講演の内容は発表者からの原稿を1月10日締め切りで受付けた後、KUR専門研究会報告として出版される予定である。最後に本研究会でお世話いただいた理化学研究所小林義男先生、京都大学原子炉実験所大久保嘉高先生、大川久美子様深く御礼申し上げ参加報告とさせていただきます。

2011年度 京都大学原子炉実験所 ワークショップ 「KURの利用と新中性子源の検討」 専門研究会 「有用放射性トレーサーの開発と利用」 後藤真一（新潟大学）

2012年1月27、28日の二日間、京都大学原子炉実験所（KUR）においてKURの新たな照射設備の利用に関するワークショップと今年度で2年目となる有用放射性トレーサーの開発と利用に関する専門研究会が合同で開催された。参加者は、KUR内外合わせて30名弱であった。

ワークショップでは、まずKURの高宮幸一准教授から、高宮氏が中心となって進めているB2照射孔に設置する新たな照射設備について、仕様や現在の作業状況について説明された。この照射設備は、圧気輸送管などでは照射できなかった比較的大きな試料や液体試料の照射が可能となるとともに、照射中の試料の状態を計測することができる。その後、この照射設備を利用した研究構想について5件の発表があった。かなり現実的なも

のからアイデアの提案のようなものまでさまざまであったが、活発な議論が交わされた。設計側では気づかなかったような疑問点やコメントが出されたことで、より利用しやすい設備になると期待される。筆者が特に注目したのは、液体試料を循環させながら中性子照射できるという点である。これまでにない照射方法であるため、運用の工夫は必要となるが、新たに研究が展開するのではないかと考えられる。

翌日の専門研究会では、医療用トレーサーとして利用されているTc-99mの国内製造について2件と α 放射体によるがん治療について2件の発表が行われた。Tc-99mは現在の放射性トレーサーを利用した診断に必要不可欠なものであるし、 α 放射体を用いたがん治療は海外で成果を上げつつある。どちらも、近年注目を集めている研究分野であるが、国内のいくつかの研究グループがそれぞれ独自に研究を進めているのが現状である。研究会では、早急な研究の発展と実用を目指すために協力体制を作るべきだとの意見が出された。

今回の合同の研究集会は、トレーサーを利用する側と製造する側がそれぞれ新しいことに挑戦しようとしているなかで、互いの情報を交換すると

いう意味で有意義なものだったと感じた。今後、二つのテーマの進展に注目したいと思う。

《プログラム》

1月27日(金)

ワークショップ

「KURの利用と新中性子源の検討」

- ・開会の挨拶 川端祐司(京大炉)
- ・「KURの利用活性化」 川端祐司(京大炉)
- ・「プロジェクト全体説明とB2照射孔における照射特性」 高宮幸一(京大炉)
- ・「ホウ素化合物のマイクロイメージングの高度化に関する研究」 田中浩基(京大炉)
- ・「原子炉を用いたPr-142等の短半減期核種のオンライン製造」 菊永英寿(東北大)
- ・「環境サンプル中の微量元素分析における高信頼手法の開発」 福谷哲(京大炉)
- ・「B2照射孔における溶液試料の中性子照

射」 藤井俊行(京大炉)

- ・「生物を生きのまま中性子照射できる環境の構築と生命科学への応用」 鷲山幸信(金沢大)
- ・総合討論
- ・合同懇親会

1月28日(土)

専門研究会

「有用放射性トレーサーの開発と利用」

- ・開会の挨拶 篠原厚(阪大)
- ・「Tc-99mの製造について」 高橋成人(阪大)
- ・「核破碎中性子の利用」 中井浩二(阪大)
- ・「 ${}^7\text{Li}+\text{Pb}$ 反応でのAtの製造とAtの簡易化学分離」 西中一郎(JAEA)
- ・「がん治療用RI製造におけるR&Dのニッチ」 鷲山幸信(金沢大)
- ・その他、総合討論、連絡事項など

第13回「環境放射能」研究会

長田直之(京都大学大学院工学研究科)

第13回「環境放射能」研究会が平成24年2月27日から29日の間、茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構にて開催された(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 α 放射体・環境放射能分科会、共催:日本原子力学会 保健物理・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)。今回はこれまで利用されてきた3号館から研究本館小林記念ホール/ラウンジへ会場を移し、最終日には雪の積もる寒さの中、いまだ続く余震に揺られながらも三日間活発な発表と議論が行われた(写真1)。

この研究会は毎年3月上旬頃開催され、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これまで議論が行われてきている。昨年の第12回研究会最終日の翌日に東日本大震

災が起こり続いて発生した福島第一原子力発電所事故により環境中に大量の放射性物質が放出されたことから、これを対象とした研究発表が今回は8割程度を占めた。本研究会では基調講演4件と、口頭21件とポスター37件が発表され、特にポスター発表は昨年から倍増となった。参加者も例年の100名強から164名に増加し事故によって引き起こされた放射性物質の拡散に対する環境放射能研究の活発さ、また関心の高さをうかがわせた。口頭発表の分野は土壤、作物/調理、汚染の広がり、生物移行、教育、測定、大気に関するものであった。

最初の基調講演は「土壌試料中の ${}^{134}\text{Cs}$ 、 ${}^{131}\text{I}$ 定量のための γ 線検出効率決定法とカスケードサムの定量的評価」が原子力機構の浅井雅人氏からあり、トップバッターにふさわしくその後の発表でもたびたび言及された。学習院大学の村松康行氏は「福島原発事故による農作物および果実への汚染経路の解明と今後の対策について」を、京都大学の今中哲二氏は「チェルノブイリと福島の事故プロセス、放射能放出、放射能汚染の比較検討」

を講演された。今中氏はチェルノブイリ事故に関する再刊された小冊子（「チェルノブイリ」を見つめ直す—20年後のメッセージ）を提供され、より深い理解の助けとなった。初日、二日目ともにその日の最後に総合討論の時間が用意され、質疑応答の時間が不足した発表に対して納得するまで追加の議論が行われた。

最終日の午後には特別セッション「技術者／研究者の連携：反省と環境放射能研究の将来に向けての提言」がもたれ、最初に大阪大学の篠原厚氏の基調講演「福島土壤プロジェクトおよび放射化学会の取り組み」が行われた。続いて村松氏から「研究としての環境放射能と社会に役立つ環境放射能」について、原子力機構・長縄弘親氏から「土壌処理や除染に関わる原子力機構の取り組み」について、放医研・田上恵子氏から「食の安全に関する話題」について、そして清水建設・木下哲一氏の「若手の民間研究者の立場から」と高エネ研・高橋一智氏「若手の技術者の立場から」と話題提供があり、高エネ研の榊本和義氏が座長となられ討論が進められた。約1時間半の総合討論の議論時間中にのべ十数人から発言があった。この一年間を振り返った反省があり、それに加えて議論からは単に研究することにとどまらず、社会からの至急の要請に応え、放射能の恐怖におののく市民と対話することの困難さが浮き彫りになった。しかしさまざまな困難を超えて、今回の事故に対しそれぞれが何か出来ることをしなければならないという使命感を持ったことが伝わり、特に福島県出身の高橋氏が尽力された様に深く感銘を受けた。以前に行われた第8回研究会の若手セッション「明日、チェルノブイリ事故が起きたら、私達は何が出来るのか？」では、自身の研究を如何に生かすか、そのために研究者間で強い結びつきが求められているとの結論に達している。この1年間にその会で想定された状況が起こったが、今回の発表からはその結論に近い研究者間の協力関係が結ばれ調査、測定、研究が行われたと私は受け止めた。

今回は新たに若手の発表に対して賞が設けられ、徳島大学総合科学部 B4 の坂口由貴子氏の口頭発表「福島県避難勧奨区域における土壌汚染と農作物の放射能」と学習院大学 B4 稲川直也氏の

ポスター発表「福島原発事故後に採取した土壌試料中の ^{129}I 測定による $^{131}\text{I} / ^{129}\text{I}$ 比の推定」にそれぞれ奨励賞が、奈良学園高等学校3年の藤本麻美氏の発表「中学生・高校生が見た福島—福島における計測と聞き取り調査から—」に特別賞が贈られた（写真2は発表後の藤本麻美氏（写真左端、質疑応答時のもの）と座長・九州大学の杉原真司氏（写真右）、DSCF1461.JPG）。藤本氏の発表は高校生とは思えないほど立派なもので、受賞にも会場の参加者が皆納得するものであったろうと考えられる。なお副賞は高エネ研の素粒子 T シャツで、選考された先生方が受賞者のサイズまで考慮の上選ばれた一品で、代表世話人の三浦太一氏から賞状とともに手渡された。

今後、長期間にわたって環境中に放出された放射性物質と向き合う必要があると予想され、秋の放射化学討論会と並んでこの「環境放射能」研究会が重要な役割を果たしていこうと考えられる。



写真1 活発な発表と議論



写真2 藤本麻美氏（左端）杉原真司氏（右）

情報プラザ (国際国内会議)

**1. MARC IX
Ninth International Conference Methods
and Applications of Radioanalytical
Chemistry**

会期 March 25-30, 2012
会場 Kailua-Kona, Hawaii, USA
会議ホームページ [http://altmine.mie.uc.edu/
nuclear/marc/ix.shtml](http://altmine.mie.uc.edu/nuclear/marc/ix.shtml)

**2. 4th Japan-China Workshop on Fusion-
related Tritium Science and Technology**

会期 May 9-11, 2012
会場 Toyama, Japan
会議ホームページ [http://www.hrc.u-toyama.
ac.jp/jcw4/index.html](http://www.hrc.u-toyama.ac.jp/jcw4/index.html)

**3. NRC-8
International Conference on Nuclear and
Radiochemistry**

会期 Sep 16-21, 2012
会場 Lake Como, Italy
会議ホームページ <http://nrc8.mi.infn.it/>

**4. FUSHE 2012 ENSAR-ECOS Workshop on
FUture SuperHeavy Element Strategy**

会期 May 13-16, 2012
会場 Erbismuhle-Weilrod, Germany
会議ホームページ [http://www.ensarfp7.eu/
workshops/fushe2012/](http://www.ensarfp7.eu/workshops/fushe2012/)

**5. 5th International Conference on Fission
and Properties of Neutron-Rich Nuclei
(ICFN5)**

会期 November 4-10, 2012
会場 Sundial Beach Resort, Sanibel Island,
Florida
会議ホームページ <http://proton.phy.vanderbilt.edu/>

**6. MSMS2012
Mossbauer Spectroscopy in Materials
Science**

会期 June 11-15, 2012
会場 Olomouc, Czech Republic
会議ホームページ <http://www.msms2012.upol.cz>

**7. ISIAME'2012
The International Symposium on the
Industrial Applications of the Mossbauer
Spectroscopy**

会期 September 2-7, 2012
会場 Dalian, China
会議ホームページ [http://www.medc.dicp.ac.cn/
isiame2012](http://www.medc.dicp.ac.cn/isiame2012)

**8. HFI/NQI 2012
The 4th Joint Meeting of the 16th
International Conference on Hyperfine
Interactions and the 20th international
Symposium on Nuclear Quadrupole
Interactions**

会 期 September 10-14, 2012
会 場 Beijing, China
会議ホームページ <http://cnps.ac.cn/hfi2012>

国内

日本放射化学会年会・第56回放射化学討論会

9. LACAME2012

**XIII Latin American Conference on the
Applications of the Mossbauer Effect**

会 期：2012年10月3日（水）～5日（金）
会 場：東京工業大学蔵前会館

会 期 November 11-16, 2012
会 場 Medellin-Colombia
会議ホームページ [http://www.udea.edu.co/
lacame2012](http://www.udea.edu.co/lacame2012)

**10. 11th China-Japan Symposium on
Materials for Advanced Energy Systems
and Fission & Fusion Engineering**

会 期 September 11-14, 2012
会 場 Sichuan, China

APSORC 準備状況

APSORC 2013 (2013 Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry) の開催について

日本放射化学会 APSORC 準備委員会

APSORC 2013 が、2013年9月23 - 27日の日程で金沢市において開催されることになりました。APSORC は放射化学討論会を基礎として設立され、日本放射化学会が主催する国際会議です。1997年に熊本で第1回目を開催し、福岡(2001年)、北京(2005年)、そしてアメリカ・ナバ(2009年)と続いてきました。第5回目は再び日本で開催されます。

昨年の福島第一原発事故に伴い、環境放射能研究や環境修復(除染)作業など放射化学の重要性が示されています。一方、現代社会において、ラジオアイソトープ、放射線は、医学・薬

学、農学などの生命科学や材料科学、環境科学、原子力科学あるいは産業利用など、人々の命や暮らしに直結するツールとなっています。APSORC の開催を機に放射化学の重要性をさらに広く社会や関連学協会へ訴えていきたいと考えています。APSORC 2013での、多くの学会員のみなさんの研究発表を期待しています。

なお、APSORC 2013は2013日本放射化学会年会・第57回放射化学討論会との共同開催となり、日本放射化学会と金沢大学が共催いたします。

学会だより

1. 日本放射化学会第53回理事会 [2010学会 年度第4回理事会] 議事要録

日時：2011年7月2日(土) 13:37～17:25

場所：京都大学東京オフィス 会議室1

出席者：[会長] 永目、[副会長] 篠原(厚)、沖、
[理事] 海老原、百島、村松(久)、永井、
大槻、松尾、横山、深澤、[監事] 篠原(伸)、
村松(康)、[オブザーバ] 鈴木達也(東
工大)

欠席者：[理事] 田上、木村、福島*
*委任状提出

報告

- 事務局から52回理事会の議事要録(案)、会員の入退会、会費納入状況、および賛助会員の動向の説明があり、了承された。前回理事会以降、入会8名、退会19名。賛助会員については変動なし。
- 松尾理事よりメーリングリストへの配信数、およびホームページの更新等について報告があり了承された。ホームページでは、東日本大震災に関する学会および会長からのメッセージや、緊急時環境放射能モニタリングデータなどが新たに掲載されている。
- ジャーナルに関し木村編集委員長の資料を基に、編集状況と今年の論文賞(1件)について事務局から説明があった。2011年3月2～4日に開催の国際会議 Actinide XAS 2011 Proceedings を JNRS 誌の Vol.12, No.1-2 として今秋刊行予定である。以上について了承されたが、投稿件数の少なさに関して、英文ジャーナルは本当に必要なのか、という複数の意見が出された。編集委員会でもあり方について検討を行うこととなった。
ニュースについて大槻編集委員長から次号24号の記事の内容と編集状況について説明

があり、了承された。ニュースが充実してきたのは結構である旨の意見が出された。

- 第55回放射化学討論会準備状況について、担当の村松(久)理事から、特別企画の特別セッションと一般に公開される福島原発事故特別シンポジウムを中心に説明があり、了承された。昨年と同様に2人座長制とし、若手の副座長が設けられる。公開シンポ等のマスコミ対応等は広報委員会が中心となってあたることとなった。
- 第56回放射化学討論会の準備状況について、オブザーバとしてご出席頂いた鈴木達也氏(東工大)から案の報告があり、了承された。会期は2012年10月3日(水)～5日(金)、場所は東京工業大学蔵前会館(東京都目黒区大岡山)である。
- 海老原理事より「放射化学の事典」、永目会長より放射化学冊子「超重元素」の編集の遅れ等についてそれぞれ説明があり、了解された。
- APSORC 小委員会の海老原委員長より、次回日本で開催が決まっている APSORC について報告があった。金沢大学で LOC を立ち上げ、学会との連携の元で実施する。期日は2013年の9月中～下旬に金沢での開催を予定している。討論会も金沢とし、実施の形態を検討していく。以上について了承された。
- その他 1) 本会が助成した第13回「環境放射能」研究会の報告(KEK 三浦太一氏)が事務局から説明され、了承された。

審議

- 福島原発事故への対応について、意見交換を行った。
- 篠原副会長(学会賞事務局)より、奨励賞選考委員会により2011年学会賞として、広島大学の坂口綾氏が奨励賞受賞者に選考された

ことが報告された。審議の結果理事会はこれを了承し、9月の総会時に奨励賞を授与することとなった。

3. 6月に実施された役員選挙の結果の概要が選挙管理委員会により報告された（候補者全員当選）。これに基づき事務局より新役員案が示され、審議の結果了承された。
4. 事務局が提案した、総会案内・委任状の文面が了承された。
5. 事務局より2010学会年度事業報告案・決算案（会計中間報告）および2011学会年度事業計画案・予算案の概要が示され、審議を行った。本件は総会直前の理事会において再度審議される。
6. 昨年の総会において再度検討することとなっていた、学生会員に期限を設ける件の会則改正について意見交換を行い、事務局が案を作成することとなった。また、導入を予定している会長選挙の導入に伴う会則等の改正案については審議時間が不足したことから、継続審議とした。
7. 事務局業務の内、会員管理と会費納入事務等に関しては、前回理事会で、業者に委託することが了承されている。今回の2011学会年度予算に、その費用を計上した。事務局業務の分担等について意見交換を行った。
8. 名誉会員への推薦状が提出されている、坂本浩氏（金沢大学名誉教授）について審議の結果、全会一致にて名誉会員の称号を授与することとなった。
9. 斎藤信房先生記念誌の会から30万円の寄付があった。審議の結果、この寄付を斎藤基金として一般会計とは別に管理することとし、有意義な使用を行うこととなった。

以上

2. 日本放射化学会第54回理事会 [2010学会年度第5回理事会] 議事要録

日時：2011年9月19日（月） 13:30～17:30

場所：信州大学教育学部キャンパス 自然科学校舎1階 W101会議室

出席者：[会長] 永目、[副会長] 沖、[理事] 海老原、百島、村松（久）、永井、大槻、松尾、横山、木村、田上

欠席者：[副会長] 篠原（厚）、[理事] 福島、深澤、[監事] 篠原（伸）、村松（康）

報告

1. 事務局から53回理事会の議事要録（案）、会員の入退会、会費納入状況、および賛助会員の動向の説明があり、了承された。前回理事会以降、入会15名、退会20名となり、昨年の討論会からは、正会員10名減および学生会員5名減となった。賛助会員については変動なし。
2. 松尾理事よりメーリングリストへの配信数、およびホームページの更新（緊急時環境モニタリングデータを含む）等について報告があり了承された。放射化学ニュース24号のWEBへの掲載を行った。
3. 木村理事よりジャーナルに関し以下の編集状況等の説明があり了承された。2011年3月2～4日に開催の国際会議 Actinide XAS 2011 Proceedings を JNRS 誌の Vol.12, No.1-2 として今年度中に刊行予定である。また、奨励賞受賞者にアカウント論文執筆を督促する。ジャーナルの J-STAGE への初回の公開を来年2月までに行う予定である。大槻理事より放射化学ニュースの編集状況について説明があり、了承された。次号（25号）は、はやぶさの特集の予定。
4. 翌日から開催される第55回放射化学討論会の直前の準備状況について、村松（久）理事から説明があり、了解された。一般参加者やプレスへの対応について意見交換を行った。
5. その他 1) 第56回放射化学討論会は、2012年10月3日（水）～5日（金）、東京工業大学蔵前会館（東京都目黒区大岡山）において、東京工業大学原子炉工学研究所 池田泰久先生を実行委員長として開催される。2) 出版事業について、海老原理事より「放射化学の事典」（朝倉書店）の進行状況等について説明があり了承された。

審議

1. 事務局より、会長選挙について本年は懸案が多く準備が遅れており、総会への上程を見送って実施スケジュール等の再検討を行うことが、提案された。審議の結果、了解された。
2. 総会の議案および会場配付資料について審議を行った。まず、2010学会年度事業報告案、同決算案（会計報告）、同会計監査案、2011学会年度事業計画案、同予算案について事務局より説明があり、審議の結果、一部修正の上了承された。予算案では、2011学会年度から実施を予定している事務の業務委託費用を計上した。

本年実施した役員選挙に基づき、以下の次期役員案が確認された。会長（1期2年目）永目諭一郎（原子力機構）。副会長（1期2年目）篠原厚（大阪大）、沖雄一（京大）。新任の理事（3名）榊本和義（KEK）、渡邊雅之（原子力機構）、野村貴美（東大）。留任・再任の理事（2期1年目）大槻勤（東北大）、深澤哲生（日立GEニュークリア・エナジー）、村松久和（信州大）。（1期2年目）海老原充（首都大）、田上恵子（放医研）、百島則幸（九大）、横山明彦（金沢大）。（2期2年目）永井尚生（日大）。監事（2期1年目）篠原伸夫（原子力機構）、（1期2年目）村松康行（学習院大）。

学生会員に期限を設ける会則改正案が事務局より提案され、審議の結果了承された。会則第6条に第2項として条文が追加される。

以上

3. 日本放射化学会第55回理事会 [2011学会年度第1回理事会] 議事要録

日時：2011年12月20日20:00～12月27日20:00

実施形式：メール理事会

参加者：[会長] 永目、[副会長] 篠原（厚）、沖、[理事] 海老原、百島、村松（久）、永井、大槻、横山、田上、野村、深澤、榊本、渡邊、[監事] 篠原（伸）、村松（康）

報告

1. 事務局から54回理事会の議事要録（案）、会員の入退会および会費納入状況の説明があり、了承された。前回理事会以降、入会4名、退会2名であった。賛助会員数には変動なし。
2. 渡邊理事よりメーリングリストへの配信数、およびホームページの更新（緊急時環境モニタリングデータのページの更新、APSORC国際委員会のページの開設）等について報告があり了承された。
3. 大槻理事より次号放射化学ニュース（25号）の目次について説明があり、了承された。

審議

1. 3役より、木村賞の位置づけを変更し、功労賞的な意味合いを持たせることが提案された。審議の結果了承され、学会賞細則第4条を以下のように改正することになった。

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。

本改正は2011年12月28日より施行された。また、本改正を反映させた2012年学会賞の募集要項が学会賞事務局より提案され、審議の結果了承された。

2. 会長選挙について審議を行った。現在の方法を改め会長を会員の選挙により選出する方式に変更することが、理事会においてすでに決定しているが、その方法および実施時期については検討が遅れていた。3役から、会則では会長推薦の方法までは定めていないため理事会にて早期に会長選挙の規定を制定し、2012年に行われる理事・監事の選挙（2012年から隔年の実施となる）に合わせて会長選挙を実施することを検討していることが報告された。3役の原案を元に候補者の選定方法、実施時期、会員への告知の方法などについて意見交換を行った。審議の結果、現時点では2012年から会長選挙を実施する方向で準備を行うこととなった。事務局において、必要な規定の制定と、関連する内規等の改正の

- 案を作成して次回理事会にて審議することとなった。
3. JNRS誌について審議を行った。投稿数の減少などを受け、同誌の今後のあり方（電子媒体のみとする、放射化学ニュースと統合するなど）について会員にアンケート調査を実施することになった。
 4. 事務局業務の一部を専門業者に委託する件について、事務局から財政状況を考慮して慎重に委託先と委託範囲の検討を進めてことが報告され、了承された。
 5. 事業経費申込書が提出された「環境放射能」研究会（2012年2月27日～29日）について、審議の結果、申請通り5万円の補助を学会より行うこととなった。

以上

4. 第13回日本放射化学会総会報告

日時：平成23年9月21日 15:10～16:25

場所：若里市民文化ホール（長野市） S会場

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、永目会長より会長報告があった。

- ア) 3月11日に発生した東日本大震災により起きた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。また日本地球惑星科学連合、日本地球化学会、日本分析化学会など他の学協会との連携が報告された。
- イ) 今回の討論会における企画（放射線教育と福島第一原発事故に関する特別セッション・シンポジウム）が世界化学年2011企画としてIUPACに登録された。
- ウ) 日本放射化学会賞規程に基づき、2011年奨励賞を坂口綾氏（広島大学大学院理学研究科地球惑星システム専攻）の「環境中のウラン同位体に関する研究」に贈る。また、坂本浩氏（金沢大学名誉教授）に名誉会員称号を

授与する。

- エ) 2011学会年度の学会業務の分担に関し、大きな変更として、2011学会年度も総括・庶務の事務は京大原子炉が担当するが、その内、会員管理と会費納付業務については基本的に専門業者に委託することが報告された。その他は変更なく、選挙事務は原子力機構、学会賞事務は大阪大学が担当する。
- オ) APSORC2013が、2013年秋に金沢で開催される。

2. 2010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12回）、および2010日本放射化学会年会・第54回放射化学討論会を開催した。2件の研究会等を助成事業として助成し、学会、研究会等への共催、協賛、後援等を6件行った。その中の1件は、日本分析化学会・日本地球化学会・日本放射化学会共同講演会（2011/7月、川崎）「放射能・放射線を正しく理解する～福島第一原子力発電所事故に関連して～」である。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5回）、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「環境放射能の最前線」が刊行された。
- エ) 決算案に対して、村松康行監事より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。

3. 2011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13回）、2011日本放射化学会年会・第55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3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) 会長報告でも報告があったように、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。

4. 会則の改定について

引き続き事務局長より、会則の改定案の説明があった。

- ・学生会員が卒業または修了後、幽霊会員となることを防ぐため、学生会員に期限を設けることを昨年の総会で提案したが条文を再検討することになっていた。新しい案として会則6条に第2項として以下を追加することを提案した。「2 学生会員は、あらかじめ申告を受けた卒業または修了の年の8月31日をもって学生会員としての身分を失うものとする。ただし、延長の申し出があった場合はこの限りでない。」

5. 新役員の選任について

会長より新役員の選任について説明があった。

- ・2011学会年度の新役員案と以下の会員が理事会より推薦された。会長、副会長はいずれも留任で、会長は永目諭一郎氏（原子力機構）、副会長は、篠原厚氏（大阪大）および沖雄一氏（京大原子炉）。理事は11名で新任3名、再任3名、留任5名。監事は再任1名、留任1名となった。これらのうち、新任、再任の理事および再任の監事については規定に従い6月に行われた役員等選挙で過半数の得票を得て当選となり総会に推薦された。なお役員の決定については会則、および理事及び監事の選挙方法に関する規定により、会長、副会長は理事会で推薦し総会で決定すること、および理事は会員の中から選挙を経て総会で選任することがそれぞれ定められている。

6. その他

事務局長より以下の案内があった。

- ・2012日本放射化学会年会・第56回放射化学討論会は、2012年10月3日（水）から5日（金）までの日程で、東京工業大学蔵前会館（東京都

目黒区大岡山）において、東京工業大学原子炉工学研究所 池田泰久先生を実行委員長として開催される。

以下の質疑応答の後、議案はすべて拍手により承認された。

質問：予算のうち会費収入を昨年度より低くしたのは、どういう意図があるのか？ 会員数の減少か、未納会費を見込んでのことか？

回答（事務局長）：会員数は若干減少しており、未納会費があるのも事実だが、昨年度の収入を踏まえて同程度の会費収入を見込んでいる。未納会費については未納を認めているわけではなく、徴収を積極的に進めていく。

質問：決算と予算とで△の使い方が異なっているのは不自然である。表記を統一した方が良いのではないか？

回答（事務局長）：次回から分かり易い表記に改める。

総会で承認された事業報告、決算報告、事業計画、予算、新役員、改正後の会則と、学会賞の受賞者および研究題目を以下にまとめて示す。

○2010学会年度事業報告

1. 総会
 - 第12回日本放射化学会総会（2010/9/28、大阪大学吹田キャンパス）
2. 討論会
 - 2010日本放射化学会年会・第54回放射化学討論会（2010/9/27～29、大阪）
3. 研究発表会、講演会、研究会等の開催（助成事業）
 - ・第12回「環境放射能」研究会（つくば市 KEK）
 - ・第50回核化学夏の学校
 - ・2011日本放射化学会年会・第55回放射化学討論会の特別セッションに対する補助
4. 会誌、研究報告、資料等の発行
 - ・日本放射化学会誌別冊（2010日本放射化学会年会・第54回放射化学討論会要旨集、J. Nucl. Radiochem. Sci., Vol. 11, Supplement, Sep., 2010）.
 - ・J.Nucl.Radiochem.Sci. Vol.11, No.2 (Dec., 2010).

- ・放射化学ニュース第23号 (2011年4月).
- ・放射化学ニュース第24号 (2011年8月).
- 5. 学会、研究会等への共催、協賛、後援等
 - ・日本分析化学会・日本地球化学会・日本放射化学会 共同講演会 (2011/7月、川崎)「放射能・放射線を正しく理解する～福島第一原子力発電所事故に関連して～」
 - ・第5回高崎量子応用研究シンポジウム (2010/10月、高崎)
 - ・日本化学会 化学イノベーションシンポジウム (2010/10月、広島)
 - ・原子力総合シンポジウム2011 (2011/10月、東京)
 - ・第9回核融合エネルギー連合講演会 (2011/6月、神戸)
 - ・第48回アイソトープ・放射線研究発表会 (2011/7月、東京)
- 6. 学会賞
学会賞、奨励賞の選考 (奨励賞1件)
- 7. 理事会
第50回 (2010/9/29 阪大)、第51回 (2010/12/11 秋葉原ダイビル)、第52回 (2011/3月、つくば、KEK)、第53回 (2011/7/2、品川、京大東京オフィス)、第54回 (2011/9/19、長野 信州大) 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
「環境放射能の最前線」刊行

○2010学会年度(2010年9月1日-2011年8月31日)決算

収入の部

単位(円)

項目	予算	決算	差額	備考
個人会費	2,500,000	2,123,000	△ 377,000	
賛助会費	1,400,000	1,500,000	100,000	
雑収入	10,000	269,561	259,561	雑誌バックナンバー・書籍売上げ、寄付等
前年度繰越金	1,378,285	1,378,285	0	
収入合計	5,288,285	5,270,846	△ 17,439	

支出の部

単位(円)

項目	予算	決算	差額	備考
討論会補助金	270,000	370,000	△ 100,000	第55回討論会(2011)特別セッション補助含む
要旨集(学会誌)補助	500,000	500,000	0	第54回討論会(2010)
出版事業費	2,160,000	1,448,531	711,469	
事務費	60,000	0	60,000	会議費、事務通信費等
放射化学ニュース印刷費 (内訳)	700,000	647,692	52,308	計
		217,969		22号(WEB編集代含む)
		429,723		23号(WEB編集代含む)
ジャーナル印刷費 (内訳)	1,200,000	653,940	546,060	計
		432,180		Vol.11 No.1
		221,760		Vol.11 No.2
発送費 (内訳)	200,000	146,899	53,101	計
		64,126		Vol.11 No.1と22号(送料、封入作業費)
		30,293		Vol.11 No.2(送料、封入作業費)
		32,205		23号(送料、封入作業費)
		20,275		「環境放射能の最前線」(送料、封入作業費)
会議費	510,000	605,540	△ 95,540	旅費等
理事会 (内訳)	450,000	515,780	△ 65,780	
		212,660		2010/12月(旅費)
		93,940		2011/3月(旅費)
		209,180		2011/7月(旅費、会場費)
委員会等	60,000	89,760	△ 29,760	
研究会等補助 (内訳)	200,000	150,000	50,000	環境放射能研究会,夏の学校
		50,000		環境放射能研究会
		100,000		核化学夏の学校
事務局経費	420,000	346,849	73,151	
事務費	150,000	89,727		封筒作成費含む
会費請求・選挙関係	250,000	232,308		印刷費、封入作業費、送料等
通信費	20,000	24,814		切手、送金手数料等
ネットワーク管理運営費	35,000	46,455	△ 11,455	プロバイダ契約変更
月払い分		24,675		旧契約
年払い分		21,780		新契約
学会賞	133,000	125,265	7,735	
楯	110,000	102,900		
表彰状印刷、額縁	23,000	22,365		
共催金	5,000	5,000	0	原子力総合シンポジウム
予備費	1,055,285	0		
支出合計	5,288,285	3,597,640	1,690,645	

繰越金 (収入合計 - 支出合計) =	1,673,206 円
財産 内訳	7,688,652 円
預貯金	
銀行預金 (普通)	967,163 円
銀行預金 (定期)	4,434,446 円
ゆうちょ銀行 (振替口座)	2,287,043 円
預貯金の内容	
次年度繰越金	1,673,206 円
2011 学会年度会費	1,581,000 円
基金 (黒田基金を含む)	3,507,762 円
記念事業分	626,684 円
(「環境放射能の最前線」印刷代 525,525 円を支出した残り)	
基金 (斎藤先生)	300,000 円

○ 2011 学会年度事業計画

1. 総会

第 13 回日本放射化学会総会 (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)
- ・第 51 回核化学夏の学校
- ・2012 環境放射能・放射線夏の学校
- ・2011 日本放射化学会年会・第 55 回放射化学討論会の公募セッションに対する補助

4. 会誌、研究報告、資料等の発行

- ・日本放射化学会誌別冊 (2011 日本放射化学会年会・第 55 回放射化学討論会要旨集、J. Nucl. Radiochem. Sci., Vol. 12, Supplement, Sep., 2011).
- ・J.Nucl.Radiochem.Sci. Vol.12, No.1-2 (Dec., 2011).
- ・J.Nucl.Radiochem.Sci. Vol.13, No.1 (June, 2012).
- ・J.Nucl.Radiochem.Sci. Vol.13, No.2 (Dec., 2012).
- ・放射化学ニュース第 25 号 (2012 年 3 月).
- ・放射化学ニュース第 26 号 (2012 年 8 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)
- ・原子力総合シンポジウム 2012 (2012/5 月、東京)
- ・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

学会賞、奨励賞の選考

7. 理事会

第 55 回 (2011/12 月 東京)、第 56 回 (2012/3 月、つくば、KEK)、第 57 回 (2012/7 月 東京)、第 58 回 (2012/10/2、東工大) 計 4 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

○ 2011 学会年度 (2011 年 9 月 1 日 - 2012 年 8 月 31 日) 予算

収入の部

単位 (円)

項 目	2010 学会年度	2011 学会年度	差 額	備 考
個人会費	2,500,000	2,100,000	△ 400,000	
賛助会費	1,400,000	1,400,000	0	
雑収入	10,000	150,000	140,000	雑誌バックナンバー・書籍売上げ、寄付等
前年度繰越金	1,378,285	1,673,206	294,921	
収入合計	5,288,285	5,323,206	34,921	

支出の部

単位 (円)

項 目	2010 学会年度	2011 学会年度	差 額	備 考
討論会補助金	270,000	270,000	0	第 56 回討論会 (2012) 依頼セッション補助含む
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	2,160,000	1,780,000	380,000	
事務費	60,000	30,000	30,000	会議費、事務通信費等
放射化学ニュース印刷費	700,000	900,000	△ 200,000	2 冊分
ジャーナル印刷費	1,200,000	700,000	500,000	2 冊分
発送費	200,000	150,000	50,000	送料、封入作業費等
会議費	510,000	530,000	△ 20,000	旅費、会場費等
理事会	450,000	450,000	0	
委員会等	60,000	80,000	△ 20,000	
研究会等補助	200,000	200,000	0	環境放射能研究会、夏の学校
(内訳)		50,000		環境放射能研究会
		100,000		核化学夏の学校
		50,000		環境放射能夏の学校
事務局経費	420,000	595,000	△ 175,000	
事務費	150,000	90,000		封筒作成費含む
会費請求・選挙関係	250,000	180,000		印刷費、封入作業費、送料等
外部委託費用	0	300,000		初期費用含む
通信費	20,000	25,000		切手、送金手数料等
ネットワーク管理運営費	35,000	21,780	13,220	プロバイダ費用 (年払い)
学会賞	133,000	55,000	78,000	
楯	110,000	40,000		
表彰状印刷、額縁	23,000	15,000		
共催金	5,000	5,000	0	原子力総合シンポジウム
予備費	1,055,285	1,366,426		
支出合計	5,288,285	5,323,206	△ 34,921	

○ 2011 学会年度役員

会長 (留任) 永目諭一郎 (原子力機構)、副会長 (留任) 篠原厚 (大阪大)、沖雄一 (京大)
 理事 (新任) 榎本和義 (KEK)、渡邊雅之 (原子力機構)、野村貴美 (東大)
 理事 (再任) 大槻勤 (東北大)、深澤哲生 (日立 GE ニュークリア・エナジー)、村松久和 (信

州大)

理事 (留任) 永井尚生 (日大)、海老原充 (首都大)、田上恵子 (放医研)、百島則幸 (九大)、横山明彦 (金沢大)
 監事 (再任) 篠原伸夫 (原子力機構)
 監事 (留任) 村松康行 (学習院大)

○会則の改正

改正された部分のみ示す。全文はホームページに掲載されている。

2011年9月21日一部改定

第2章 会員

(会員)

第6条 (下線部を追加)

本会の会員は正会員および学生会員とする。会員は、役員の見選挙権および被選挙権を有する。

2 学生会員は、あらかじめ申告を受けた卒業または修了の年の8月31日をもって学生会員としての身分を失うものとする。ただし、延長の申し出があった場合はこの限りでない。

付則

(1) 本会則は、2011年9月21日から施行する。

○2011年日本放射化学会学会賞、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 坂口 綾 氏 (広島大学大学院理学研究科地球惑星システム専攻) 「環境中のウラン同位体に関する研究」

以上

5. 会員動向 (平成23年8月～平成24年2月)

新規入会 (正会員)

氏名	所属
大西 徳幸	チッソ石油化学株式会社 五井研究所

新規入会 (学生会員)

氏名	所属
黒住 和奈	筑波大学 生命環境科学研究科 環境科学専攻
水内 理映子	金沢大学大学院 自然科学研究科 物質化学専攻
小野 遼平	金沢大学 理工学域 物質化学類 化学コース
木村 元	同上
中井 美希	同上

前田 英太	金沢大学 理工学域 物質化学類 化学コース
島田 昌英	同上
江口 舞	大阪大学大学院 理学研究科 化学専攻
木野 愛子	同上
塩原 直也	大阪大学 理学部 化学科
中村 宏平	同上
安田 勇輝	同上
竹内 絵里奈	首都大学東京大学院 理工学研究科 分子物質化学専攻
和田 彩佳	同上
起 孝志	東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻
鈴木 啓仁	京都大学大学院 工学研究科 物質エネルギー化学専攻

所属変更 (個人会員)

氏名	所属
小林 正規	千葉工業大学 惑星探査研究センター
尾崎 大真	東京大学 総合研究博物館

退会 (個人会員)

氏名	氏名
佐久間 絢子	栗山 亜依
木下 達也	長谷川 太一
村山 裕史	藤井 政光
茂野 雄太	堀 まゆみ
佐波 竜哉	笠原 茂
藤沢 弘幸	関 李紀
尾本 隆志	永井 幸太
周防 千明	阿部 琢也
松田 佳恵	米澤 仲四郎
高山 玲央奈	伊藤 祐生

6. その他

・総会で承認頂いたとおり、事務局では現在、業者を選定して会員管理や会費納付事務などを

外部委託する作業を開始しております。本年の会費納付から新体制に順次移行致します。事務の窓口等が変わりますが、順次メーリングリストでご案内致します。

- ・ 異動の時期となりました。所属の変更、学生会員の退会等の情報は必ず事務局までお知らせ下さい。
- ・ 会員への連絡はメーリングリストに配信することを基本としておりますので、メールアドレスの登録をお願いします。また一部の方は、アドレスの変更が事務局に連絡されていないため不達となっております。アドレスを登録しているにも関わらず、情報が届かない会員がおられましたら事務局に必ずご連絡願います。

賛助会員

株式会社アトックス

日立アロカメディカル株式会社

キャンベラジャパン株式会社

クリアパルス株式会社

サンゴバン株式会社

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

富士フイルム 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

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

財団法人 放射線影響協会

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

北陸電力株式会社

中国電力株式会社

九州電力株式会社



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等を行っています。

〒112-8604

東京都文京区白山5丁目1番3-101号 東京富山会館ビル4階

ホームページ <http://www.nustec.or.jp/>

原子力機構の目指すもの

長期的エネルギー安全保障
地球環境問題の解決

国際競争力のある科学技術を
生み出す基盤

高速増殖炉サイクル技術
(国家基幹技術)

核融合研究開発

高レベル放射性廃棄物処分技術

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

デコミッショニング
廃棄物処分

自らの施設の廃止措置

核不拡散技術開発

廃棄物の処理処分

共通的科学技術基盤

先端基礎研究

外部との連携
情報の提供

産学官との連携

国際協力

原子力基礎工学研究

人材育成

原子力情報



独立行政法人 日本原子力研究開発機構

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49 TEL029-282-1122(代表)

環境放射能、安定同位体比等、ドーピング禁止物質等、分析の専門機関

(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、中性子放射化分析等による微量元素分析、シックハウスの原因物質に関する分析、温泉分析、輸入食品に対する放射線照射の検知などを行います。

(3) ドーピング禁止物質・規制薬物の分析

東京都荒川区にアンチ・ドーピング研究所を設置し、ドーピング禁止物質・規制薬物の分析や、サプリメント等の規制薬物の分析などを行います。



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)

【問合せ先】

〒263-0002

千葉県千葉市稲毛区山王町 295 番地 3

財団法人 日本分析センター 企画・総務部

電話 043-424-8661 FAX 043-423-5326

e-mail webman@jacac.or.jp http://www.jcac.or.jp



財団法人

日本分析センター

放射線影響に係る

社会的要請にこたえて

～主な業務～

- 放射線影響に関する知識の普及啓発
- 放射線業務従事者の放射線被ばく線量等の登録・管理
- 放射線影響に関する調査研究
- 放射線業務従事者に係る疫学調査
- 放射線影響等の研究に対する助成・顕彰
- ICRP の基本勧告等に関する調査研究



(財)放射線影響協会 <http://www.rea.or.jp/>

〒101-0044 東京都千代田区鍛冶町1-9-1 6丸石第二ビル5階

TEL (03)5295-1481 FAX (03)5295-1486

◆ 放射線従事者中央登録センター

TEL (03)5295-1788

FAX (03)5295-1486

◆ 放射線疫学調査センター

TEL (03)5295-1494

FAX (03)5295-1485

◆ 国際情報調査室

TEL (03)5295-1484

FAX (03)5295-1485

放射線利用の振興のために

◆ 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」の開催

◆ 照射サービス事業

- ・ガンマ線・電子線照射: 材料の特性試験、材料改質、照射食品の検知試験
- ・中性子照射: シリコンの半導体化

◆ 放射線利用技術の移転推進

- ・中性子ビーム利用技術支援

◆ 原子力研修事業

- ・原子力・放射線に関する研修会の企画・開催支援
- ・教員免許状更新講座

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

株式会社 アトックス

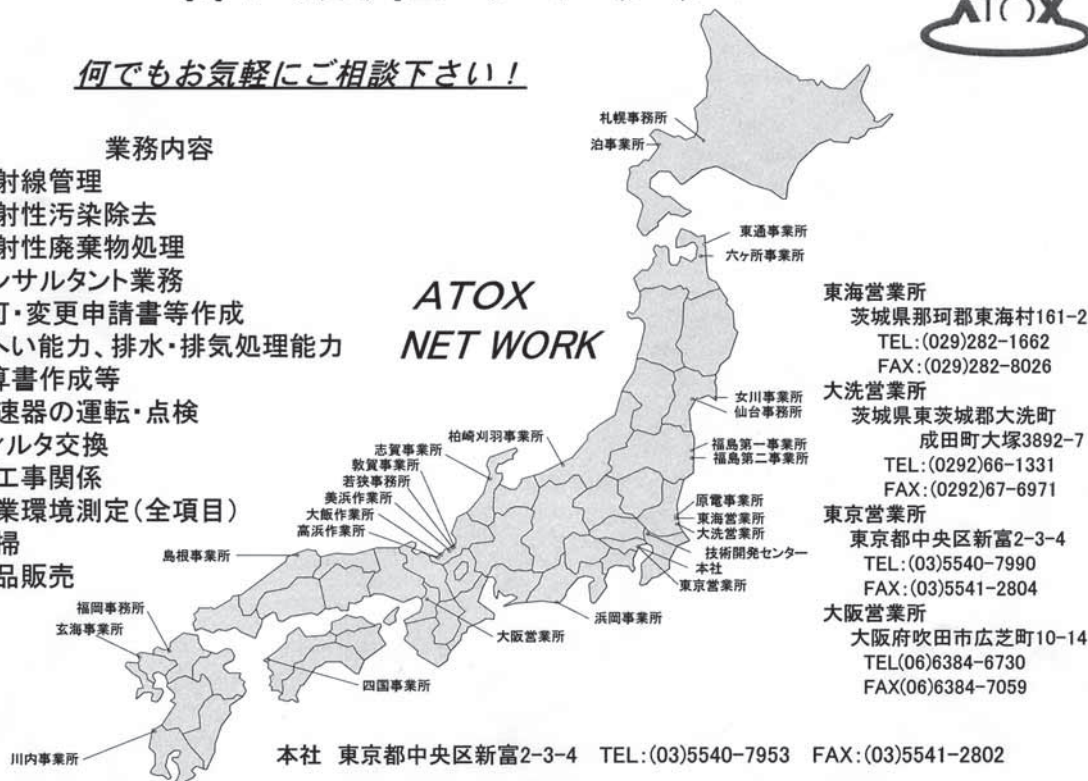


何でもお気軽にご相談下さい!!

業務内容

- ①放射線管理
- ②放射性汚染除去
- ③放射性廃棄物処理
- ④コンサルタント業務
許可・変更申請書等作成
遮へい能力、排水・排気処理能力
計算書作成等
- ④加速器の運転・点検
- ⑤フィルタ交換
- ⑥諸工事関係
- ⑦作業環境測定(全項目)
- ⑧清掃
- ⑨物品販売

ATOX
NET WORK



東海営業所
茨城県那珂郡東海村161-2
TEL:(029)282-1662
FAX:(029)282-8026

大洗営業所
茨城県東茨城郡大洗町
成田町大塚3892-7
TEL:(0292)66-1331
FAX:(0292)67-6971

東京営業所
東京都中央区新富2-3-4
TEL:(03)5540-7990
FAX:(03)5541-2804

大阪営業所
大阪府吹田市広芝町10-14
TEL(06)6384-6730
FAX(06)6384-7059

本社 東京都中央区新富2-3-4 TEL:(03)5540-7953 FAX:(03)5541-2802

HITACHI
Inspire the Next



ALOKA
illuminate the change

AccuFLEX Lsc
7400
LIQUID SCINTILLATION SYSTEM

液体シンチレーションシステム LSC-7400

Accuracy & Flexibility

AccuFLEXシリーズに上位機種の
液体シンチレーションシステムをラインアップ
その卓越した性能と使いやすさは
ハイパフォーマンスマシンそのものです
信頼のAccuFLEXブランドはさらに進化を続けます

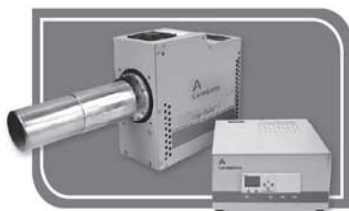
 **日立アロカメディカル株式会社**

〒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

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。



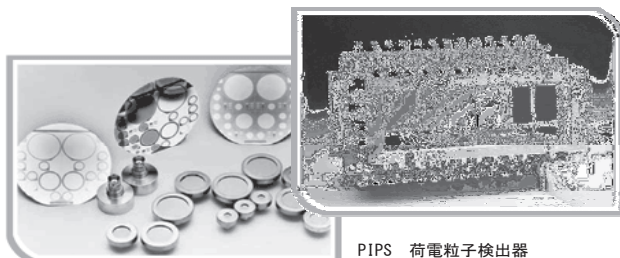
ゲルマニウム半導体検出器



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
E-Mail: 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型ハンドポーン



8868A型IVC



580型プリアンプ



4066型アンプ



1216型PHA



6671型バイアス電源



E6660ミニビン電源



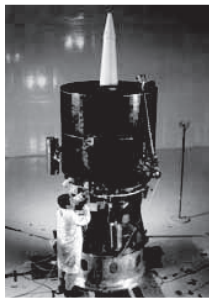
80110型プリアンプ



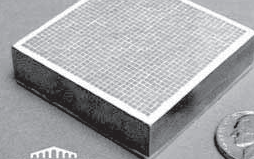
80112型MPX



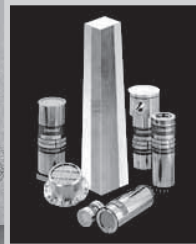
LYSO、LaCl₃、LaBr₃、NaI、CsI、BGO、CdWO₄、ZnS、YAG ...
 プラスチック、ファイバー、液体シンチレータ、アレイ状シンチレータ、
 ライトガイド、GM管、比例計数管、³He検出器等
 サンゴバンは、素材からプローブ・特殊用途まで、
 グローバル・スタンダードな最高品質のシンチレータを提供いたします。



イメージング用アレイ



SAINT-GOBAIN
CRYSTALS



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/>

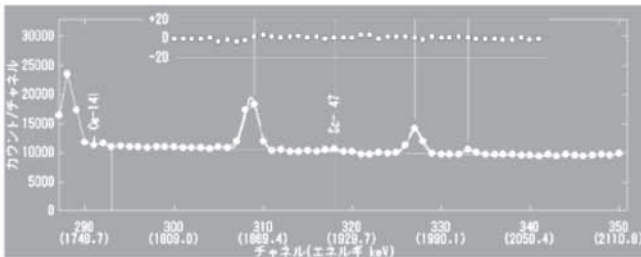
お問合せ yasuo.watanabe@saint-gobain.com

(担当 渡辺)

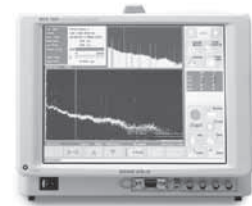
比較法による放射化分析プログラム

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】

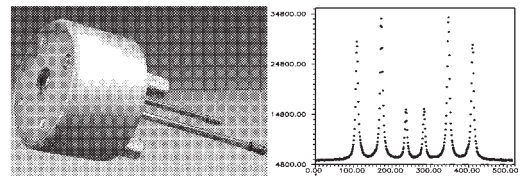
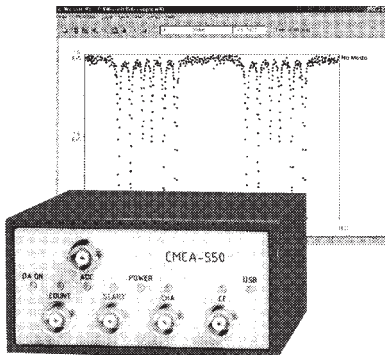
入力: COUNT, START, CHA,
COUNT ENABLE,
ADC (CMCA-550のみ)

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相当
- 箔、粉末、結晶などのサンプルの測定が可能
- 優れたSN比、高いカウントレート
- 優れたエネルギー分解能
- 低温でもガスフローを保証
- ガスフローを維持すれば、長期の測定に相当
- X線測定も可能

NORMOSパッケージ:

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

日本総代理店

DMD 大栄無線電機株式会社

〒101-0021 東京都千代田区外神田3-10-10

☎03-3255-0931(代) FAX03-3255-9869

E-mail sales@daiei-dmd.co.jp

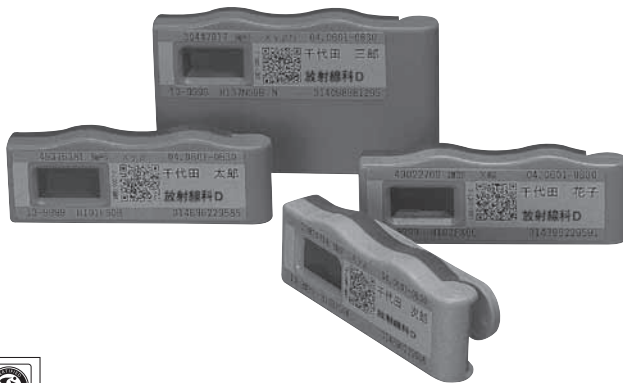


次世代の個人・環境用線量計

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
- 遮蔽設計
- 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 **テクノロジ** 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：大阪府中央区内本町 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

ALARA
 As Low As Reasonably Achievable

JAPAN ENVIRONMENT RESEARCH CO., LTD.

株式会社 日本環境調査研究所

ホームページ <http://www.jer.co.jp/>

本 社 : 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 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 放射線システム統括部 営業技術部
東京都日野市富士町1番地 〒191-8502 TEL 042 - 585 - 6024
<http://www.fujielectric.co.jp/> mail fric-info@fujielectric.co.jp

営業所
北海道 TEL 011-221-5482 東北 TEL 022-716-0203
東京 TEL 042-585-6024 中部 TEL 052-746-1032
関西 TEL 06-6455-3891 中・四国 TEL 082-247-4234
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 μ sec 固定
512,1024,2048,4096

MCA510

MCA メモリ
カウント容量
インターフェイス

4kch
32bit / ch
10/100 Mbps Ethernet

MCA520

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

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

2100C / MCA



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

NT24-DUAL

- マルチパラメータ MCA-
(陽電子消滅測定等に)



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



(株)ラボラトリ・イクイップメント・コーポレーション

TEL 029-821-6051

FAX 029-821-6054

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

〒300-0034 茨城県土浦市港町 1-7-3

賛助会員はこのスペースに無料で広告を掲載することができます (年2回以上)

日本放射化学会 賛助会員募集

本会の学会活動にご参加頂ける賛助会員をご紹介下さい

連絡先: 日本放射化学会事務局

E-mail: office@radiochem.org

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。

放射化学ニュース 第25号

平成24年(2012年)3月31日発行

編集

日本放射化学会編集委員会(放射化学ニュース担当)

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

印刷

松枝印刷株式会社

〒303-0034 茨城県常総市水海道天満町2438

本誌掲載記事の著作権は日本放射化学会に帰属します。