

放射化学

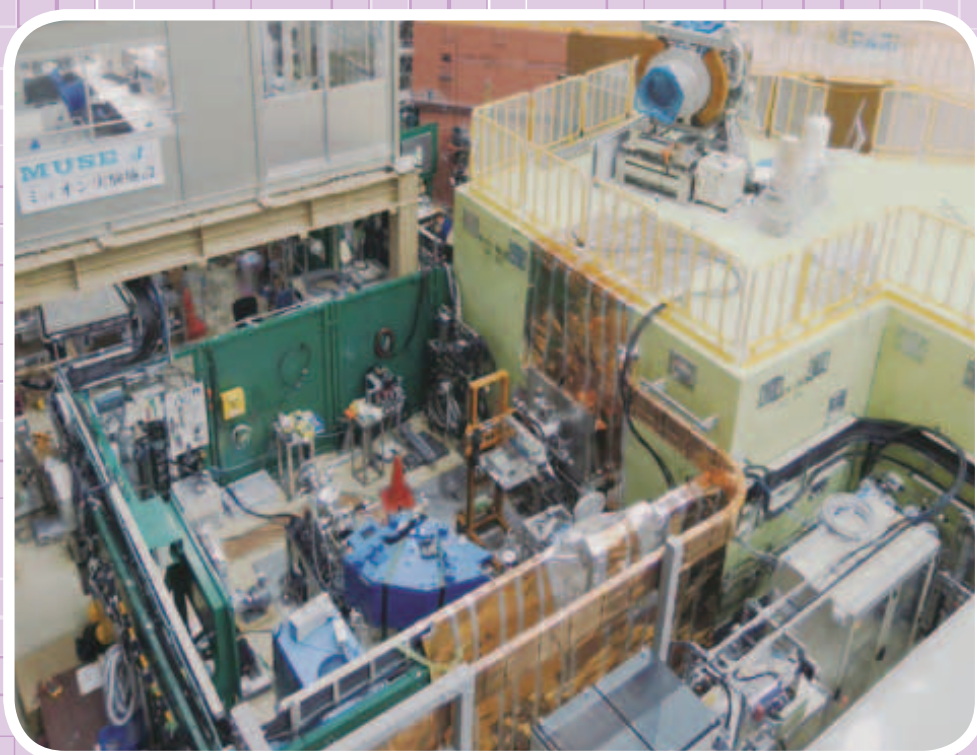
第29号

原著

福島第一原子力発電所事故の影響を受けたソメイヨシノ (*Cerasus × yedoensis* (Matsum.)
A.V.Vassil. 'Somei-yoshino') の当年枝伸長位置の根からの距離と葉中の放射性セシウム濃度

総説

ミュオン原子から放出されるミュオン特性X線を用いた非破壊元素分析／福島原発事故に伴う
飯舘村の放射能汚染調査



放射化学

第 29 号

平成 26 年 (2014 年) 4 月 25 日

目次

原著

- 福島第一原子力発電所事故の影響を受けたソメイヨシノ
(Cerasus × yedoensis (Matsum.) A.V.Vassil. 'Somei-yoshino') の当年枝伸長
位置の根からの距離と葉中の放射性セシウム濃度 (田上恵子、内田滋夫) …………… 1

総説

- ミュオン原子から放出されるミュオン特性 X 線を用いた非破壊元素分析 (二宮和彦) …………… 9
福島原発事故に伴う飯舘村の放射能汚染調査
(遠藤 暁、今中哲二、林 剛平、菅井益郎、小澤祥司、梶本 剛) …………… 15

ニュース

(学会賞受賞者による研究紹介)

- 時間分解蛍光分光法によるアクチノイドおよびランタノイドの溶液化学に関する研究
(木村貴海) …………… 26

(会議報告)

- アジア太平洋地域放射化学国際会議 (APSORC13) 報告について (山本政儀、他) …………… 34
環境放射能・放射線夏の学校 2013 (藤原慶子) …………… 42
Third International Conference on Application of RadiotraCers and
Energetic Beams in Sciences (ARCEBS-14) (羽場宏光) …………… 45
NAC-V への参加報告 (高宮幸一) …………… 48
第 15 回「環境放射能」研究会 (佐藤志彦) …………… 50

- 情報プラザ (国際国内会議) …………… 52

学会だより	54
-------------	----

「放射化学」論文編集委員会規定	63
-----------------------	----

賛助会員リスト
広告

表紙の説明

茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の物質・生命科学実験施設内にあるミュオン研究施設 (MUSE) の 2014 年 3 月の様子。J-PARC/MUSE は世界で最高強度のパルスミュオン源であり、写真手前の D ラインでは、本誌で解説した元素分析実験の他に、物性物理や物理化学、さらには素粒子物理といった様々な研究が進行している。さらに写真奥では、数十 eV という超低速のミュオンを取り出す、別のビームライン (U ライン) の建設・整備が着々と進められている。

原 著

福島第一原子力発電所事故の影響を受けたソメイヨシノ (*Cerasus xyedoensis* (Matsum.) A.V.Vassil. 'Somei-yoshino') の当年枝伸長位置の根からの距離と葉中の放射性セシウム濃度
Radiocesium concentration differences in leaf samples collected from different distances from tree roots of a Someiyoshino cherry tree (*Cerasus xyedoensis* (Matsum.) A.V.Vassil. 'Somei-yoshino') affected by Fukushima Daiichi nuclear power plant fallout

田上恵子*, 内田滋夫

放射線医学総合研究所 放射線防護研究センター 廃棄物技術開発研究チーム

〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川4-9-1

Keiko Tagami, Shigeo Uchida

Office of Biospheric Assessment for Waste Disposal, National Institute of Radiological Sciences
Anagawa 4-9-1, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8555 Japan

(2013年12月26日投稿、2014年1月15日受理)

要旨

樹体中の一部の放射性セシウム (Cs) はリサイクルしていると考えられている。一旦根や主幹に移行・貯蔵した場合、木部を介して新芽伸長のために再分配されると考えられるが、その際、根や主幹に近い部位ほど放射性 Cs 濃度が高くなる可能性がある。そこで福島第一原発事故により放出された放射性 Cs に汚染したサクラの木に着目し、根に近く主幹から直接伸長した枝の葉と樹幹外周部新梢の葉の放射性 Cs 測定を2013年に行ったところ、前者の濃度が3倍程高く、また十分葉が展開した後も濃度差が継続することがわかった。経根吸収による放射性 Cs の木の根へ供給の程度については、根圏域中の可給態放射性 Cs 濃度を考慮すると、現状においては根に貯蔵されていた放射性 Cs 量よりも低いと考えられた。これらの結果は、主に表面吸収された放射性 Cs がリサイクルし、新芽が伸長する前には放射性 Cs が根や主幹に貯蔵されたことを示している。

キーワード

放射性セシウム、リサイクル、木本植物、可給態画分、表面吸収

Key words

radiocesium, recycle, woody plants, bioavailable fraction, foliar uptake

1. はじめに

樹木中において放射性セシウム (Cs) が新芽に移行することは良く知られている。これは、植物にとって必須元素であるカリウム (K) が、生長する新芽等の生長点で活発に使用されること^{1,2}が原因である。すなわち、K の同族元素である Cs が、必須元素ではないが、植物中において類似した挙

動になるためである。Yoshida³は、チェルノブイリ原発事故から12年経過後のベラルーシの松林を対象に分析を行い、2年から4年葉の松葉では各森林において¹³⁷Csと安定Csの濃度比が一定であり、Cs濃度の樹体内での分布の違いは、K、ルビジウムおよびリンと同様であったことを示した。しかしながら、測定は1回のみであり、経年変化、1年間における樹木中における変動や、高さ方向の濃度の変化などは検討されていない。

*Corresponding author. e-mail: k_tagami@nirs.go.jp

最近 Yoshihara ら⁴は、福島第一原発事故後に採取したサクラの葉について2年間の測定結果を報告しているが、2011年と2012年の結果に差異がないことを示しており、樹体内でのリサイクル等が要因であろうことを示した。樹種や個体によって反応は様々であるが、葉に蓄積したほとんどの放射性Csが根や幹に移行・貯蔵するか、または落葉等で失った放射性Cs量の分を経根吸収で補充できなければ、葉中の濃度が毎年維持されることはほぼ困難であろうと考えられる。GoorとThiry⁵はオウシュウアカマツの樹体内でのCsのサイクルについて、経根吸収量よりもリサイクル量の方が全体量に占める割合が高いが、落葉等で樹体から除去される量も多いことを示している。我々も、落葉樹であるカキについて葉の測定を2011年春から2013年夏まで継続して行っ

た結果、徐々に濃度が低下していることがわかった⁶。Kについては、樹木の葉を継続して測定した結果として、新葉に高く、落葉期に向けて徐々に濃度が低下するが、K濃度が落葉前に測定できなくなる程度低下することはなかったことが報告されている¹。これは、葉中のKが全てリサイクルされている訳ではないことを示している。以上の結果より、放射性Csは樹体内で一部はリサイクルされるものの、落葉や落果、また樹皮のはがれ落ち等により樹体から徐々に除去されると考えられる。

無機元素がリサイクルされる際には、光合成産物である炭水化物が木の根や幹等に移行・貯蔵していくことに伴うと考えられる⁷⁻⁹。Fig. 1は光合成産物および無機元素の挙動を模式的に示したものである。一旦根等に貯蔵されたCsが再び利

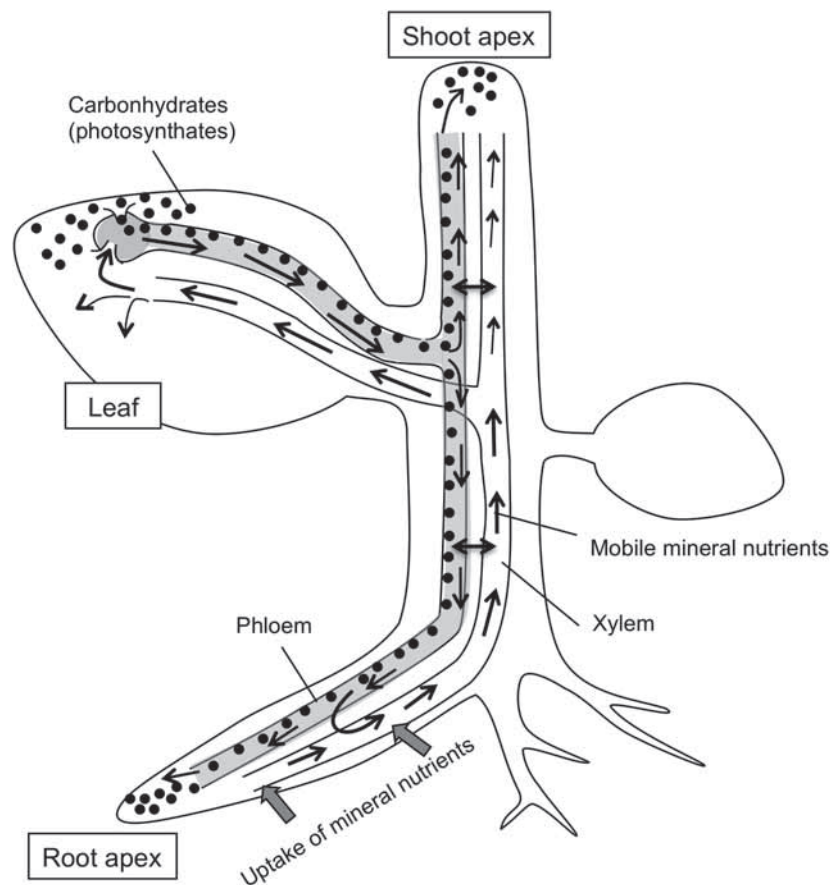


Figure 1. Schematic of the partitioning of photosynthates and mineral nutrients and the cycling and recycling of mineral nutrients in plants (modified from Marschner et al.²).

用される場合に、木部を通して生長器官に送られることになる。特に落葉樹については春に芽吹くことから、この季節には活発に根や幹の貯蔵器官から芽が伸長する生長点へとKとともにCsが移動すると考えられる。もし、放射性Csが実際に根や幹に貯蔵され、新芽が伸長する際に再分配を起こすのであれば、根や幹から生長点までの移動距離が放射性Cs濃度に影響する可能性がある。すなわち、生長点ではKを必要としていることから、貯蔵器官（供給源）に近い程先に利用されると考えられ、そのため貯蔵部位に近い生長点の方が、遠い生長点よりも濃度が高くなる濃度勾配が生じると考えられる。このような現象が確認されれば、Csが秋期から冬期にかけて根や幹に貯蔵されていたことの証明になる。そこで、本研究では、一本のサクラ（ソメイヨシノ）の木に着目し、葉のサンプリング位置による違いについて検討を行った。

2. 試料および方法

試料は千葉県千葉市にある放射線医学総合研究所敷地内にあるソメイヨシノである。樹齢については不明であるが、胸高直径は1 mであった。この敷地における放射性降下物の経時変化についてはIshiiら¹⁰が報告しているので参照されたい。当該木周辺での調査では¹³⁷Cs総量として約14 kBq m⁻²であった。太い幹（主幹）から直接伸長した当年枝（以下、L）と幹一枝を経て伸長した当年枝（樹冠外周部新梢、以下、H）から葉をサンプリングした。サンプリング位置の模式図をFig. 2に示す。サンプリングは2013年の花が散り始め、当年枝が出だす頃から開始し（3月23日）、葉が十分展開しきらない4月19日、葉が完全に展開した6月6日および光合成が盛んに行われている8月8日に行った。また、Hの試料は10月8日及び29日にもサンプリングを行った。試料量は生重で20-60gである。いくつかの試料については洗浄と非洗浄を作成したが、以前我々が実験を行った結果からも土壌の舞上がり等による影響はほとんど見られないと考えられたため¹¹、両方の処理の試料データともここでは同様とみなして用いた。

それぞれの試料は乾燥機を用いて2日以上

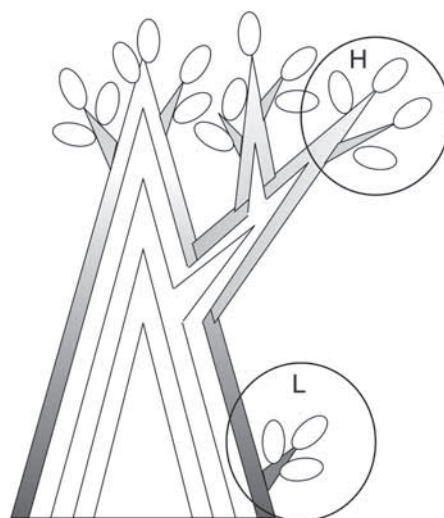


Figure 2. Schematic of the sampling parts of a *Someiyoshino* cherry tree.

80℃で乾燥後、粉碎してよく攪拌したのち、U8容器に詰めてGe半導体検出器（Seiko EG&G）により40,000-50,000秒の測定を行った。測定機は校正線源で校正されている。本測定において、¹³⁴Csのピークも確認されているが、濃度が低かったため以下では放射性セシウム濃度としては¹³⁷Csのデータについて報告する。また、比較のために⁴⁰Kについても定量を行った。

3. 結果及び考察

主幹から直接伸長して根に近いサンプリング位置のLと、幹一枝を介して伸長し、Lよりも根から離れた樹冠外周部新梢のサンプリング位置のHについて、葉を継続的に測定した結果をTable 1に示す。サンプリング位置LおよびHそれぞれで、¹³⁷Cs濃度は3-4月の試料で高く、その後濃度が低下し、6-8月ではほとんど変化がなかったが、葉の濃度はLの方がHよりも3-4倍高かった（8月において、Lでは約20 Bq kg⁻¹ rawに対し、Hは約5 Bq kg⁻¹ raw）。これに対し、⁴⁰K濃度は若干の変動があるものの、LとHでははっきりとした差異はなかった。この結果から、放射性Cs濃度はサンプリング位置によって違い、さらにKと放射性Csでは樹体内での挙動は一致しないことがわかった。根や幹等に貯蔵されたKと放射性Csに加え、これらが経根吸収されることによる樹体への移行の程度が影響している可

Table 1. Concentrations of ^{40}K and ^{137}Cs in Someiyoshino cherry leaves collected at different distance from the roots of one tree.

Sample*	Sampling date	Days after	Water content	^{40}K	^{137}Cs
		March 11, 2011	(%)	Bq kg ⁻¹ raw	Bq kg ⁻¹ raw
H-1	Mar 23, 2013	743	75	196 ± 30	12.1 ± 1.6
H-2w	Apr 19, 2013	770	74	191 ± 16	11.3 ± 1.0
H-3	Jun 6, 2013	818	66	166 ± 16	6.5 ± 0.9
H-3w	Jun 6, 2013	818	67	157 ± 16	5.1 ± 0.9
H-4	Aug 8, 2013	881	64	260 ± 17	6.4 ± 0.9
H-4w	Aug 8, 2013	881	64	202 ± 15	4.6 ± 0.8
H-5	Oct 8, 2013	942	65	217 ± 15	8.0 ± 0.9
H-5w	Oct 8, 2013	942	65	199 ± 15	8.7 ± 0.9
H-6	Oct 29, 2013	963	62	142 ± 17	5.2 ± 1.0
H-6w	Oct 29, 2013	963	63	141 ± 19	7.7 ± 1.1
L-1w	Apr 19, 2013	770	76	138 ± 13	29.1 ± 1.1
L-2	Jun 6, 2013	818	73	196 ± 13	18.8 ± 0.9
L-2w	Jun 6, 2013	818	74	199 ± 12	11.8 ± 0.7
L-3	Aug 8, 2013	881	70	207 ± 14	19.8 ± 1.0
L-3w	Aug 8, 2013	881	71	224 ± 16	19.8 ± 1.1

* Sample names with 'w' mean washed-samples with reverse osmosis water.
± Shows counting error.

能性があるが、経根吸収の影響については後述する。

LとHの葉の放射性Cs濃度の違いについては、貯蔵部位（根や幹）から枝への軸方向の移動および当年枝の、軸方向に対して垂直の方向（樹皮から枝の中心部への放射方向）からの移動、すなわち供給量の差が考えられる。位置Hの葉は前年に伸長した枝の葉芽から発生したものであり、前年枝の濃度を反映している可能性がある。そこで、Table 2に2012年に採取した当年枝と1年枝（2011年枝）また、2013年に採取した当年枝と1年枝（2012年枝）の濃度を、枝全体もしくは、樹皮+篩部と木部分けて測定した結果を示す。木部中の濃度は常に樹皮+篩部の濃度よりも低い。枝全体としては、2012年には位置Hの当年枝では6.9-8.9 Bq kg⁻¹ rawであり、Table 1より、葉が完全に展開した6月において葉中の濃度が5.1-6.5 Bq kg⁻¹ rawであることから、 ^{137}Cs 濃度がほぼ同じであった。この結果は、2012年枝中の放射性Csが全量移動してこなければ説明がつかない。

一方で、時期は異なるが2013年10月において、2012年枝にも放射性Csが検出されたことを考えると、全量が移動したとは考えにくい。したがって、Hの葉にも、前年枝中に貯蔵した放射性Csだけではなく、根や主幹等に貯蔵されていた放射性Csが移動し分配されたと考えるほうが妥当であろう。

位置Lの葉も、Hと同様、貯蔵部位である主幹の横方向からの放射組織を通じた供給（拡散を含む）があると考えられる。Lは主幹から直接篩部や木部を共有しており、軸方向の物質の上下移動にも敏感に反応しながら生長する可能性がある。生長という観点から、前年度貯蔵された糖（光合成産物）の移動を参考にすることができよう。近藤と大賀⁹は、根に貯蔵されていた糖の方が、主幹や枝に貯蔵されたものよりも優先的に利用され、また、種類によるが、横方向よりも軸方向の移動が大きいものがあることを示している。放射性Csも同様に動いていると考え、主幹の

Table 2. Concentrations of ^{137}Cs in new shoots and one-year-old branches (in parenthesis) in 2012-2013.

Sampling date	H, Bq kg ⁻¹ raw			L, Bq kg ⁻¹ raw		
	Whole	Bark + phloem	Xylem	Whole	Bark + phloem	Xylem
May 9, 2012	-	-	-	26.9 ± 3.8	-	-
May 31, 2012	7.3*	9.9 ± 1.5	5.0 ± 1.3	-	-	-
Aug. 10, 2012	6.9*	10.9 ± 2.6	3.9 ± 1.3	-	-	-
Aug. 10, 2012	(8.9*)	(14.3 ± 2.0)	(5.2 ± 1.1)	-	-	-
Jun. 6, 2013	<10.1	-	-	-	5.7 ± 1.2	<2.9
Oct. 8, 2013	8.5 ± 2.5	-	-	-	-	-
Oct. 8, 2013	(6.6 ± 2.5)	-	-	-	-	-

* Calculated from the ^{137}Cs concentration and weight of each tissue.

± Shows counting error.

横方向からの放射性 Cs の移動に加え、根に貯蔵されていた Cs が樹幹方向へ移動する途中において吸収してしまうため、濃度が高くなっている可能性がある。これらのことより、供給源の貯蔵量の差と主な貯蔵部位である根や幹からの距離が L と H の葉中の ^{137}Cs 濃度に差をもたらしたものと考えられる。

Guha ら¹は葉中の K 等無機元素濃度の季節変化を測定しているが、K 濃度は初期に高く、その後徐々に低くなる事が報告されており、本実験の Cs の結果と類似するが、K とは異なる結果であった。植物の栄養状態やサンプリングのタイミングが影響している可能性もあるが、本実験では K と Cs は同じ試料を測定していることから、供給源や木部を通じた分配、樹体表面からの水分蒸散による樹体内での水の移動速度等について、同じアルカリ元素でも K と Cs という元素の違いが影響していると考えられる。これが植物の部位における濃度の違いを生じさせている可能性があり、このような違いは既存の報告とも一致する^{3, 5, 12}。さらに K と Cs の違いについては、経根吸収からの供給に着目しなければならない。K については、落葉・落枝等で土壌表面に供給され、有機物分解が進むにつれて K が溶脱し土壌中へ入っていく。しかし、K は土壌固相への収着能が低いため高い易動性を維持する。十分 K が供給できる環境が土壌中にあれば、植物の活動が活発になり始める頃には、新根部で K の贅沢吸収が起る。このことから、本実験の葉中 K 濃度変動の結果は、

根や幹等に貯蔵されていたりサイクル K に加えて経根吸収により十分供給され、K 不足が起りにくくなっていたためと考えられた。一方、放射性 Cs については K と異なり、土壌中での易動性の低さが、上述した軸方向での濃度勾配に影響すると考えられる。すなわち、芽が伸長し始める頃には貯蔵部位からの再分配放射性 Cs を先に位置 L の葉が利用していくが、その後は経根吸収による供給がほとんど無くなるため、軸方向の放射性 Cs 濃度は、H の葉まで L と同様の濃度に保てないことが濃度勾配を生じる原因となっている可能性がある。

なお、水分含量については葉の展開が不十分な新葉の時期に高く、徐々に低下し、8月では L の方が H よりも水分含量が 10%ほど高かった。これには蒸散流が影響しているものと考えられる。一般に、日射量が多くまた気温が高くなると葉から水分が蒸散し、この水ポテンシャルの勾配を利用して植物が根から吸収した養分を地上部に運んでいる。したがって、常に H の葉は水分含量が低く維持される。一方、L では高さが H に比べて低い場合、水分含量を低くする必要がないのかもしれない。この水分含量の違いを補正するために乾重ベースで計算した結果を Fig. 3 に示したが、傾向は生重ベースの結果と同じであることがわかる。6-8月において、L の葉は 62 ± 12 Bq kg⁻¹ dry であったが、H の葉は 17 ± 3 Bq kg⁻¹ dry であり、約 4 倍の濃度差があった。

長期的には樹体中の放射性 Cs の植物中循環に

において経根吸収が重要な供給源となる。経根吸収には、土壤中の可給態画分のCsが効くが、その可給態Csが経根吸収によって木に吸収される量を推定するための手法として、草本植物を可給態量推定に用いることができる¹³。一般に根の機能は高等植物であれば、草本植物でも木本植物でも同様であると考えられる。我々は以前、複数の種類の木の葉と野菜の葉中の元素濃度を比較したが、その結果、Csを含むほとんどの元素で有意差がないことを示した¹⁴。したがって、根圏域中の放射性Cs濃度が同じ場合、草本植物の放射性Cs濃度を測定すれば、木本植物中の経根吸収による放射性Cs濃度もおおそ推定することができる。そこで、同時期に当該サクラの木周辺で測定した、複数種の草本植物の放射性Cs濃度を測定したデータについても、Fig. 3に記載した。その結果、草本植物の⁴⁰Kはサクラの葉中の濃度と同程度であったが、¹³⁷Csについてはサクラの葉中の濃度の方が高かった。なお、この期間において草本植物中の濃度は徐々に低下していった。こ

のことは事故発生から2年以上経過しても、徐々に可給態Csの割合が減少し続けていることを示している。この結果から、木本植物の放射性Cs量の経根吸収量についても徐々に減少していくことが考えられた。なお、ここで注意しなければならないのは、草本植物の根圏域は木本植物よりも浅いこと、および、原発事故により環境中に放出された放射性Csは未攪乱土壌の深度分布を調べると、表層1-2 cmまでしか到達していないこと¹²である。すなわち、サクラの木が草本植物と同程度の可給態放射性Csを吸収できるとしても、根圏域の放射性Cs濃度が草本植物のそれと比べて低いため、草本植物よりも経根吸収による量は低くなるはずである。しかしながら本研究で測定したサクラの葉のデータは、LおよびHとも、草本植物よりも放射性Cs濃度が高かった。この結果は、やはり現時点では、直接沈着—表面吸収された放射性Csが経根吸収よりも多く樹体内を循環しているため、と考える方が妥当であろう。一方、Kの場合は、上述したように、土壤中から

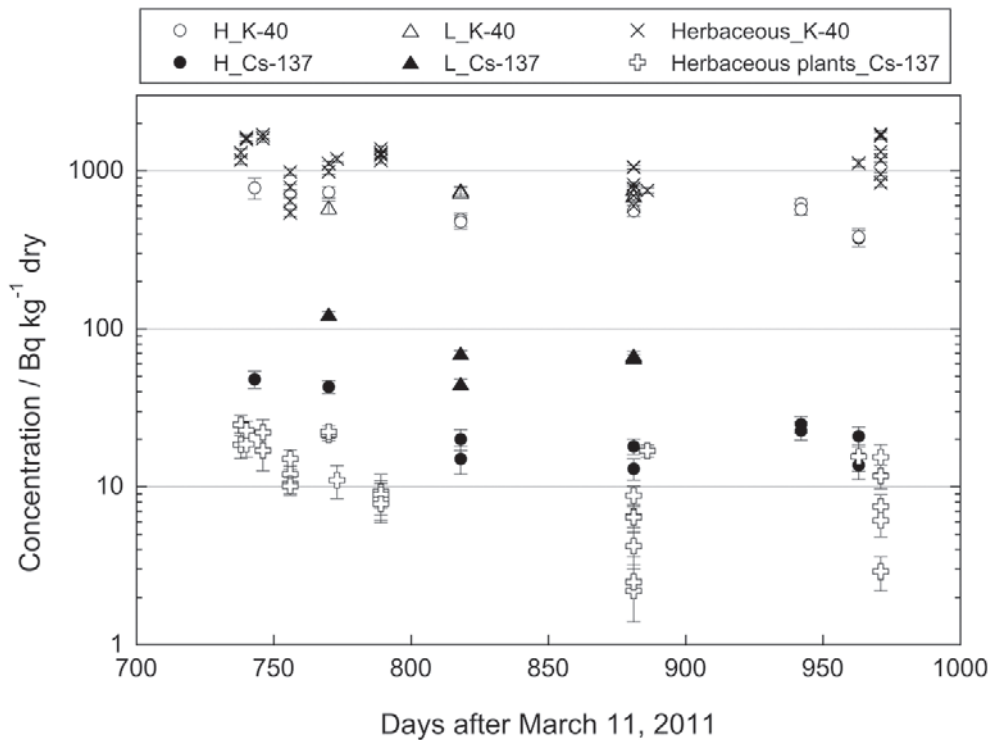


Figure 3. ¹³⁷Cs and ⁴⁰K concentration changes in the leaf samples of *Someiyoshino* cherry and those in several herbaceous plant samples with time. Bars show counting errors.

十分供給されているため、必要量が土壌から吸収されて濃度勾配が顕著ではなかったと考えられる。

以上の結果は、放射性Csの方が根から再分配を受ける際に、根に近い生長点ほど放射性Csの濃度が高くなる可能性を示唆している。木を放射性Csに汚染させた部位から非汚染部位へ移動する現象については、汚染原点点からの距離が遠くなるほど枝中の濃度が下がることが報告されており¹⁵、本研究結果と同様の傾向であることを示している。すなわち、採取する植物の器官（例えば葉）が同じであっても、一つの木の個体での採取位置が異なれば、放射性Cs濃度が違う可能性があることを意味している。これについては、樹木高さに対し、上、中、下という形で葉の位置を分類し、種々の無機元素濃度を測定した結果があり¹、Kでは明確な差は見られていないが、濃度差が生じた元素もあった（例えば、下部の葉の濃度が上部の葉よりも高いものとして、Co, Ni, Fe, V, TI, Cr, Pb および Al）。これらの元素の供給源が土壌であるので、根が供給源（貯蔵された無機元素および経根吸収により樹体に取り込まれた無機元素）であり、放射性Csも同じような現象が生じていたといえる。

ただし、このような放射性Csの濃度勾配は、直接沈着—表面吸収経路が顕著であった2011年度には、方位や上下方向において付着した放射性Csの量の変動が大きすぎて確認することができなかったと考えられる。しかし、2012年度以降には根に放射性セシウムを貯蔵する再循環の経路が形成されていた可能性がある。したがって、福島第一原発事故後2年目以降においては、葉のサンプリングを根からの距離に対してどの位の距離であったのかが、一個体中の濃度変動に影響する可能性がある。一個体の継続したモニタリングにおいて誤差を減少させるためには、サンプリングの位置にまで注意したものでなければならないといえる。

4. まとめ

落葉樹の根や主幹は冬場に放射性Csを貯蔵し、植物が伸長する春に再び使われる可能性があるが、その挙動は明確ではない。そこで、主幹から直接伸長して根に近いサンプリング位置の当年

枝Lと、Lよりも根から離れたサンプリング位置の樹幹外周部新梢であるHにおいて、1本のサクラの木を対象に、葉中の¹³⁷Csを継続的に測定した。その結果、Lの葉の方が、Hの葉よりも濃度が高く、かつ8月までその差が継続していたことがわかった。本結果は、根に近い方から遠い方へ放射性Csの濃度勾配が生じていたことを示しており、根や主幹が放射性Csの供給源であったと考えられる。根を介した放射性Csの供給については、表面吸収後貯蔵されたものと経根吸収されたものが主に影響すると考えられる。しかしながら、草本植物の測定結果から、経根吸収によりサクラの木に吸収されたと考えられる量は、すでに表面吸収により樹体に取り込まれリサイクルされている量よりも低いと考えられた。したがって、表面吸収により吸収された放射性Csの一部はリサイクルの過程で根や主幹に貯蔵され、貯蔵部位から芽の伸長に伴って再分配される場合に、貯蔵部位からの距離に応じた濃度勾配が生じている可能性を示すことができた。今後は根を直接測定したり、他の木にもあてはめることができるのかについて検討をする必要がある。

謝辞

本研究の一部は、資源エネルギー庁放射性廃棄物共通技術調査等事業の予算で行われた。

引用文献

1. Guha, M.M., Mitchell, R.L., The trace and major element composition of the leaves of some deciduous trees, *Plant Soil* 24, 90-112 (1966)
2. Marschner, H., Kirkby, E.A., Cakmak, I., Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients, *J. Exp. Bot.* 47, 1255-1263 (1996)
3. Yoshida, S., Watanabe, M., Suzuki, A., Distribution of radiocesium and stable elements within a pine tree, *Radat. Prot. Dosim.* 146, 326-329 (2011)
4. Yoshihara, T., Hashida, S., Abe, K., Ajito, H., A time dependent behavior of radiocesium

- from the Fukushima-fallout in litterfalls of Japanese flowering cherry trees, *J. Environ. Radioactiv.* (in press)
5. Goor F., Thiry Y., Processes, dynamics and modeling of radiocaesium cycling in a chronosequence of Chernobyl-contaminated Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations. *Sci. Total Environ.* 325, 163-180 (2004)
 6. 田上恵子、内田滋夫、カキの果実および葉中の放射性セシウムの濃度の比較：2011春-2013年夏までの結果. *Radioisotopes* (in press)
 7. Loescher W.H., McCamant, T., Keller, J.D., Carbohydrate reserves, translocation and storage in woody plant roots, *Hortscience* 25, 274-281 (1990)
 8. Rosecrance, R., Weinbaum S.A., Brown, P.H., Alternate bearing affects nitrogen, phosphorus, potassium and starch storage pools in mature pistachio trees, *Annals of Botany* 82, 463-470 (1998)
 9. 近藤民雄、大賀祥治、落葉広葉樹でみられる春先の木部輸送。九大演報 81, 77-91 (2000)
 10. Ishii, N., Tagami, K., Takata, H., Fujita, K., Kawaguchi, I., Watanabe, Y., Uchida, S. Deposition in Chiba Prefecture, Japan, of Fukushima daiichi nuclear power plant fallout. *Health Phys.* 104, 189-194 (2013)
 11. 田上恵子、内田滋夫、福島第一原子力発電所事故で放出された放射性物質を含む土壌の付着による植物葉からの放射性セシウム吸収について、*放射化学* 28, 1-8 (2013)
 12. 田上恵子、内田滋夫、福島第一原発事故後のツクシへの ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の移行と分布及び調理・加工による除去、*Radioisotopes* 61, 511-516 (2012)
 13. Kruyts, N., Thiry, Y., Delvaux, B., Respective horizon contributions to cesium-137 soil-to-plant transfer: a rhizospheric experimental approach, *J. Environ. Qual.* 29, 1180-1185 (2000)
 14. Tagami, K., Uchida, S., Can elemental composition data of crop leaves be used to estimate radionuclide transfer to tree leaves? *Radiat. Environ. Biophys.* 49, 583-590 (2010)
 15. Carini, F., Radionuclide transfer from soil to fruit, *J. Environ. Radioactiv.* 52, 237-279 (2001)

Abstract

A portion of radiocesium in a tree is considered to be recycled. Once radiocesium was translocated in the tree roots and the trunk, the radiocesium would be redistributed to the other plant tissues through xylem. It would probable that radiocesium concentrations in the newly emerged tissues closer to the tree roots and trunk would be higher than those in the other tissues emerged far from the roots and the trunk due to the concentration gradient. Thus we used a Someiyoshino cherry tree affected by the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident to clarify the fate of radiocesium. Samples were collected in 2013 for three to six times. It was found that the radiocesium concentration was about three times higher in leaves directly emerged from the tree trunk (near roots) than in that emerged far from the roots. We also found the radiocesium amount in the roots through root uptake pathway was still smaller compared to that already absorbed in trees through foliar uptake. These results indicated that radiocesium recycled and accumulated in the tree roots and the trunk in winter, and then, the radiocesium can be a source to the newly emerged tissues in spring.

総 説

ミュオン原子から放出されるミュオン特性 X 線を用いた非破壊元素分析 Development of Non-destructive Elemental Analysis by Characteristic Muonic X-rays Emitted from Muonic Atoms

二宮和彦 (大阪大学大学院理学研究科)

Kazuhiko Ninomiya

Graduate School of Science, Osaka University

要旨

本研究グループでは、10 年ほど前にシャットダウンした、高エネルギー加速器研究機構の中間子実験施設 (KEK-MSL) の稼働時から、一貫してミュオン原子による非破壊元素分析法の開発に取り組んできた (dreamX 計画: damageless and regioselective elemental analysis with muonic X-rays)。5 年前より茨城県の J-PARC が稼働し始め、これまでよりはるかに強いミュオンビームの利用が可能となり、大きな研究進展があった。具体的にはこのミュオンビームを用いて、ミュオン原子による多元素同時の非破壊定量分析法の開発を行った。さらには数 μm オーダーでミュオン停止位置を制御し、位置分解能のある非破壊分析を実際に行った。本稿では最近の研究の進展について解説する。

キーワード

ミュオン、元素分析、ミュオン原子、ミュオン特性 X 線、J-PARC

Key words

Muon, Elemental Analysis, Muonic atom, Muonic X-ray, J-PARC

1. はじめに

ミュオン原子とは、原子核と電子以外を構成粒子にもつエキゾチック原子と呼ばれるもののひとつで、原子のなかの電子の一つがミュオンに置き換わった原子である。ミュオンは電子の 200 倍の質量を持つ素粒子であり、研究目的では大型の加速器施設により得られる。ミュオンは正の電荷を持ったものと、負の電荷を持ったものの二つがあるが、本稿で取り扱うのはもっぱら負の電荷を持ったものである。なお、正の電荷のミュオンに関しては、その持つスピンの異方性を利用した μSR 法により、物性物理学で広く利用されており、大きな研究コミュニティを持っていることを付記しておきたい。

ミュオン原子は、ミュオンを物質に打ち込み、停止させるだけで生成する。詳しいミュオン原子

の形成過程は十分には理解されてはいないものの、物質に入射されたミュオンは電子との散乱過程によりエネルギーを失い、数十 eV まで減速した後に、近傍の原子の原子核のクーロン場へと捕獲され、ミュオン原子が生成するといわれている。このときミュオンは捕獲される原子の結合エネルギーの小さな電子と相互作用して、捕獲されるとされており、電子状態により捕獲の様子が大きく異なることが知られている [1]。具体的には同じ元素に捕獲される場合でも、分子構造によってミュオンの各元素への捕獲率が変化する。小さな結合エネルギーを持つ電子と相互作用することに関連して、ミュオンは捕獲当初は非常に結合エネルギーの小さな準位、主量子数が 20 を超えるような高い励起状態の準位に捕獲される。ミュオンからすると、ミュオン 1s 軌道に至るすべて

の準位が空なので、ミュオンはすぐさま軌道電子との相互作用であるオーグメント過程か、特性 X 線（以後ミュオン特性 X 線）により 1s 軌道まで脱励起していく。本稿で解説するミュオン原子を用いた元素分析とは、このミュオン特性 X 線に注目した、スペクトロスコーピーによる元素分析法である。

2. ミュオン特性 X 線元素分析の特徴

ミュオンは電子の 200 倍の質量を持つので、ミュオン特性 X 線は単純な近似計算でも、電子の特性 X 線の 200 倍の高いエネルギーを持つことになる。つまりバルクな物質の内部からもミュオン特性 X 線は吸収されずに放出される。通常の蛍光 X 線分析では、高真空の条件が必要であり、さらにその場合でも表面近傍の分析にしか高い感度を発揮できないが、ミュオン特性 X 線はエネルギーが高いためこのような問題は起こらず、空気中でも分析が可能となる。具体的な一例を挙げると、蛍光 X 線分析では銅 ($Z=29$) の X 線エネルギーは 8 keV 程度であるが、ミュオン特性 X 線ではおよそ 1500 keV であり [2]、数 mm を超える銅板を通過してもなおこれらの X 線は検出可能である。またエネルギーが高いため、必ずしも KX 線に注目する必要がなく、LX 線、MX 線のエネルギーですらそれぞれ 330、140 keV と十分高いエネルギーを持っている。これらの高い遷移のミュオン特性 X 線も利用することで、ミュオンが停止した物質内部のある位置における、非破壊の元素分析が可能となる。

非破壊の元素分析法として、本書の読者にとっては中性子放射化分析法が最も馴染み深い方法であろう。本手法はミュオンというビームを物質に打ち込み、そこから放出される高エネルギーの X 線（つまりは光子）を測定するという点で、中性子放射化分析法のうち、即発ガンマ線分析法と非常によく似た手法である。実際にビームの取り出し後はまったく同じ実験セットアップでの実験ができる。本稿では特に即発ガンマ線分析法との違いについて述べる。

まず元素ごとの分析感度について比較する。ミュオン特性 X 線による分析では、X 線の強度すなわち感度は、ミュオンの原子への捕獲数によ

り決まる。物質中の各原子へのミュオンの捕獲比は電子の状態により変化するが、これは変わるといっても数倍程度である [1]。つまり感度は元素によらずほぼ一定であるといえる。一方で中性子放射化分析では、中性子の捕獲断面積は原子核によって数桁変わるため、一部の元素に対して非常に高い感度を発揮可能である反面、得手不得手が激しく分析対象の元素構成によっては分析できない場合もある。またもうひとつ異なる点として、中性子は原子核を見るが、ミュオンは特性 X 線を検出するので、元素を見ているということも挙げられる。このため中性子放射化分析で直接的に得られるのは正確には原子核の存在比率であるのに対し、ミュオンの場合には元素の存在比が得られるという違いがある。ミュオン原子でも厳密にはミュオン特性 X 線のエネルギーには同位体シフトがあるため [2]、同位体分析も原理的には可能であるが、現状では元素分析という面からはその特性は用いられていない。

次にミュオンと中性子のビームが持つ特性について比較する。ミュオンは電荷を持った粒子なので、陽子と同じように物質中ではブラッグ曲線に従いエネルギー損失をしていき、入射エネルギーにより物質中での停止位置（深さ）が決まる。ミュオンの入射エネルギーは電磁石で簡単に選択することができるので、ミュオンを用いれば深さ方向に対し位置選択的な非破壊分析が可能となる。中性子は電荷を持たないためこのような停止位置の制御は不可能である。しかしビームの強度という観点で見た場合、ミュオンは加速した陽子によりパイ中間子を作り、それを崩壊させて得られるいわば三次粒子であり、ビームの強度が低い。得られる強度はエネルギーによっても変わるが、現在最高レベルの加速器施設においても、 10^8 /s の強度を得るのが精一杯である。中性子は加速器だけでなく原子炉からもその数桁上の強度が得られ、原理的なことはともかくとして、中性子による分析は多くの元素でミュオンによる分析よりも実験的な感度は高くなる。以上のようにミュオンと中性子を用いた場合、どちらも非破壊のバルク分析が可能であるが、これらのそれぞれの特性を生かして使い分けることが重要だと考えられる。

本稿では考古学資料を用いた二つの実験とその結果を紹介する。まず多元素同時の定量分析が可能であることを青銅製の古銭を用いた実験 [3] により、位置選択的な非破壊分析が可能であることを小判を使った実験 [4] により示す。本稿での実験はすべて茨城県那珂郡東海村、大強度陽子加速器施設 (J-PARC) 内に設置されたミュオン実験施設 (MUSE) において行った。J-PARC/MUSE は 2008 年 8 月にミュオンの取りだしに成功し、2009 年度から共同利用実験が進められている全国共同利用の研究施設である。本稿の内容とは直接関わらないため、詳しくは触れないが世界最高強度のミュオンビームが得られる施設の一つである。ミュオンによる元素分析ができるという提案自体は昔からあったが [5-8]、分析法として現実的な開発ができるようになったのは、大強度のミュオンビームが現実にも得られたことが大きい。

3. 多元素同時元素分析

多元素同時定量の実験として、古代中国の青銅銭 (半両：紀元前 3 世紀、秦代) に対する分析を行った。試料の写真を図 1 に、また青銅銭の分析実験セットアップの概要を図 2 に示す。本実験のセットアップは非常に単純である。加速器から取



図 1 : Photo of the ancient Chinese bronze coin.

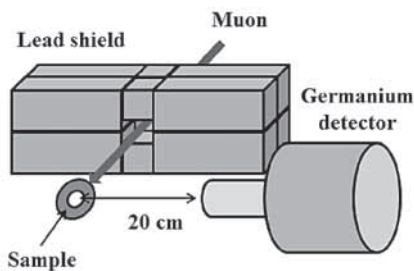


図 2 : Schematic view of experimental setup for muon irradiation for the bronze coin.

りだされたミュオンビームを取りだし、空気中に設置した試料に当てて、放出されるミュオン特性 X 線をゲルマニウム半導体検出器で測定する。J-PARC ではミュオンはパルスビームで供給されるため、パルスと同期したゲート信号を作ることにより、低バックグラウンドの測定が可能である。ミュオンの入射エネルギーは 4 MeV (運動量 30 MeV/c) に調整した。これはビームライン窓や間に存在する空気層の厚みを考慮すると青銅銭の表面から 260 μm 程度の深さにミュオンが停止することに相当する。実際には運動量に 5 % 程度の幅があるので [9]、260 μm の深さを中心として ± 10 % 程度の領域に停止していると考えられる。青銅銭に加速器出力 20 kW の条件で (現在の J-PARC ではこの 10 倍の加速器出力での実験が可能である)、16 時間ミュオンの照射をして得られたミュオン特性 X 線スペクトルを図 3 に示す。

スペクトルの解析を行ったところ、青銅銭から得られたスペクトルのピークは、Cu、Sn、Pb にミュオンが捕獲されたときに放出されるミュオン特性 X 線のエネルギーに一致していることが分かった。本実験では Cu、Sn、Pb の金属板へのミュオン照射実験も同様に行い、スペクトルの取得を行ったので、青銅銭との比較を図 3 に示す。

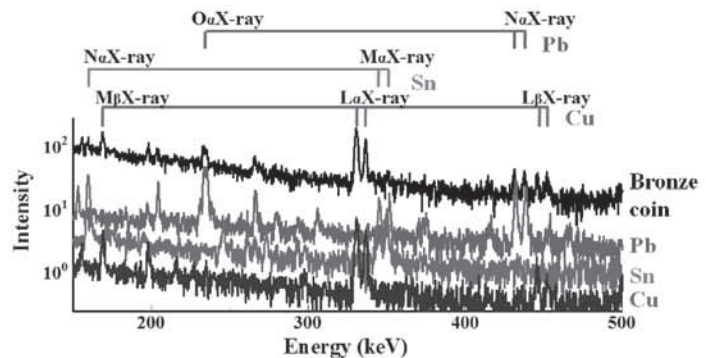


図 3 : Muonic X-ray spectra measured with the ancient Chinese bronze coin, Cu, Sn and Pb samples. Muonic X-ray lines emitted after muon capture for Cu, Sn and Pb atoms were identified.

青銅銭を試料にして得られたミュオン特性 X 線スペクトルのすべてのピークは、Cu、Sn、Pb の金属試料に対するミュオンの照射を行ったときに得られたピークに帰属することができた。このことはこの青銅銭が、Cu、Sn、Pb の三種の金属の合金であり、そのほかの元素の含有量は小さいということを示している。

定量分析を行うためには、ミュオン特性 X 線の強度（ミュオン捕獲数に対応）と元素の成分比の関係を求めることが必要である。物質へのミュオン捕獲比を求める経験的なモデルはいくつか提案されているが、今回は成分が既知の青銅に対するミュオンの照射を行い、元素成分比とミュオン特性 X 線の検量線を実験的に作成した。図 4 に Cu と Sn について、それぞれミュオン特性 X 線の強度比と元素成分比の関係を示す。元素成分比と X 線強度比は直線関係があることがわかり、実験値の内挿値から定量することが可能となった。なお、合金においてミュオン特性 X 線の強度と元素成分比が直線関係になることは、過去に行われた別の合金での実験においても報告されている [10]。この検量線を利用することによりミュオン特性 X 線の強度から元素成分の定量を行ったところ、Cu : 69.8 ± 2.6 %, Sn : 10.0 ± 1.7 %, Pb : 20.3 ± 2.2 % (すべて wt% での分析値) が得られた。また、図 4 より検量線の傾きは 1 に近いことがわかる。このことはミュオン特性 X 線の強度比が、ほとんどそのまま元素の成分比に対応するという意味している。つまり各元素の検出感度という観点で見ると、本手法は元素

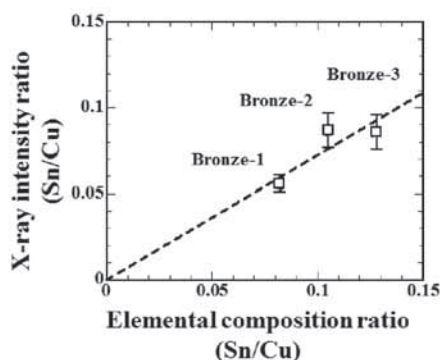


図 4 : Relation between muonic X-ray intensity ratios and elemental composition ratios for standard bronze samples (Bronze-1, -2 and -3).

によってほとんど感度の変わらない分析法であるということがわかる。

4. 天保小判に対する深さ選択的な非破壊分析

ミュオン特性 X 線により、位置分解能のある非破壊分析が可能であることを実証するために、図 5 に示す天保小判 (19 世紀) へのミュオン照射実験を行った。江戸時代末期にあたる天保期は、厳しい江戸幕府の財政状況を反映してか、小判といいつつも Au の含有量は 57% 程度であり、残りは Ag でできた合金である。ただし天保小判に限らず、江戸期の小判は「色揚げ」と呼ばれる製造上の技法が使われ、表面付近では Au の含有率が 90% 程度と非常に高い層でおおわれている。これが全体では Au の含有率が低いにもかかわらず、小判が見事な金光沢を示す原因となっている [11]。この Au の多い層は表面からわずか数マイクロメートルで、少し深いところでは全体の Au の含有率となる 57% に低下することが知られている。本実験では入射するミュオンのエネルギーを変化させて、ミュオン特性 X 線の強度の違いから深さ方向の Au 含有率変化の測定を行った。



図 5 : Photo of the Tempo-koban (right) and Japanese 5-yen coin (left).

天保小判を試料としたときの実験の様子を図 6 に示す。基本的には先の青銅銭を用いた実験と同じである。ただし本実験では非常に低エネルギーのミュオンビームを使うために、ミュオンが空気で停止しないように試料の入った真空チャンバーとビームラインを接続してミュオン照射を行った。ミュオンの入射エネルギーは 0.2 ~ 1 MeV を選定した (運動量に換算すると 6 ~ 15 MeV/c)。これは負ミュオンが Au 中で表面から 2 ~ 15 μm の深さに停止するのに相当する入射

エネルギーとなる。

図 7 に 0.2 および 1 MeV の二つの入射エネルギーで得られたミュオン特性 X 線スペクトルを示す。Ag 由来のミュオン特性 $M\alpha$ X 線 (305 keV) の強度と、Au 由来のミュオン特性 $N\alpha$ X 線 (400 keV) の強度で比をとったところ、ミュオンの入射エネルギーにより明確な違いがみられた。ミュオンの入射エネルギーに対応する Au 内での飛程を横軸に、Au/Ag のミュオン特性 X 線強度比を縦軸にとったものを図 8 に示す。Au/Ag

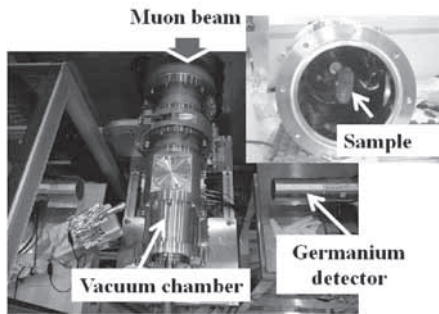


図 6 : Experimental setup of muon irradiation for the Tempo-koban.

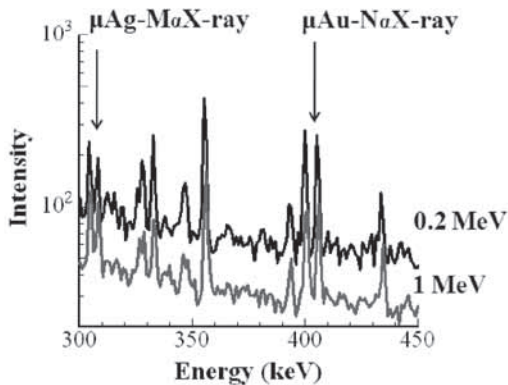


図 7 : Muonic X-ray spectra for Tempo-koban sample with the different incident muon energy.

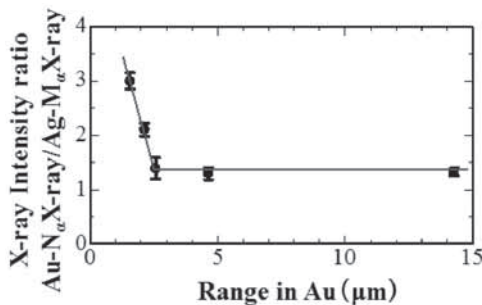


図 8 : Variation of muonic X-ray intensity ratio for the Tempo-koban with different muon stopping range.

のミュオン特性 X 線強度の比は、ミュオンの停止位置が浅い場合は高いが、ある深さまで入ると X 線の強度比がほとんど変わらなくなった。

定量的な元素分析を行うために、青銅銭での実験と同様に、Au と Ag からなる成分既知の標準合金試料 (Au 含有率 80%, 60%, 50%) にミュオン照射を行い、検量線を作成した。それぞれのミュオン入射エネルギーに対応するミュオン停止位置での Au の成分比を求めたところ、図 9 に示す結果が得られた。表面から 2 μm の深さでは 80 % 近い Au の含有率があり、深さとともに Au の含有率が急激に低下し、全体の Au の含有率である 57 % に近づいていく様子が見られる。またより深い領域においても Au の含有率は一定であり、Au の含有率の異常はわずか数マイクロメートルしかないことがわかった。これらの Au の含有率の変化は、すでに別の方法で調べられている、色揚げされた小判の元素成分の深度分布の結果にも整合した [11]。本実験によりミュオンを用いることで深さ分解能のある非破壊分析が可能であることを実証した。

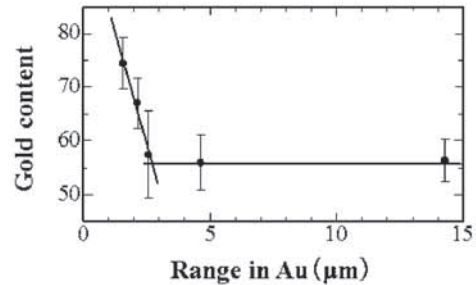


図 9 : Depth-profiling of the Tempo-koban determined from muonic X-ray intensity ratio. The composition of Au is decreased with increasing muon stopping depth.

5. ミュオン特性 X 線による元素分析の展開

これまで述べたように、ミュオン特性 X 線による元素分析法は、非破壊で物質の内部を、位置選択的に多元素同時に定量できるユニークな手法である。ミュオン原子を元素分析に応用できないかという提案は過去にあったが、本研究により実際にどの程度の精度で分析が可能かということ初めて明らかにした。現状の実験では測定に使用している装置の制約、特にミュオン特性 X

線測定のための検出器の数が限られおり、測定の立体角が稼げないために、検出限界は1 wt%程度である。中性子放射化分析をはじめとする別の分析法からすると物足りないが、今後測定システムを整備、さらには加速器側の進歩により、分析手法としてのブレイクスルーをもたらすことができると考えている。

本手法は青銅銭の分析で示したように、空气中に試料を置くだけで測定可能であり、また破壊することなく直接内部を見ることができる。つまり表面が錆などにより悪い状態にあったとしても分析できるということで、本手法は今回示したような考古学資料の分析に向けた分析法であると言える。またそのほかにも、空気との接触により劣化するために容器に密封された試料や、生きたままの生物試料等についても、分析位置を選択したうえで、元素分析ができるようになることを期待される。

6. 謝辞

本稿で紹介した研究内容は、J-PARC ミュオン実験施設において、実験課題 2009A0055、2010A0056、2010B0031 および 2011B0035 実験の一環として行われたものである。この実験の共同研究者に、また大強度で高品質なミュオンビームの生成に関わった J-PARC のすべてのスタッフに深く感謝いたします。

引用文献

- [1] H. Schneuwly, V. I. Pokrovsky, L. I. Ponomarev, Nucl. Phys. A, **312**, 419 (1978).
- [2] R. Engfer, H. Schneuwly, J. L. Vuilleumier, H. K. Walter, A. Zehnder, At. Data Nucl. Data Tables, **14**, 509 (1974).
- [3] K. Ninomiya, T. Nagatomo, K. Kubo, T. U. Ito, W. Higemoto, M. Kita, A. Shinohara, P. Strasser, N. Kawamura, K. Shimomura, Y. Miyake, T. Saito, Bull. Chem. Soc. Jpn., **85**, 228 (2012).
- [4] K. Ninomiya, T. Nagatomo, K. M. Kubo, P. Strasser, N. Kawamura, K. Shimomura, Y. Miyake, T. Saito, W. Higemoto, J. Phys. Conf. Ser., **225**, 012040 (2010).
- [5] M. K. Kubo, H. Moriyama, Y. Tsuruoka, S. Sakamoto, E. Koseto, T. Saito, K. Nishiyama, J. Radioanal. Nucl. Chem., **278**, 777 (2008).
- [6] E. Köhler, R. Bergmann, H. Daniel, P. Ehrhart, F. J. Hartmann, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., **187**, 563 (1981).
- [7] H. Daniel F. J. Hartmann, E. Köhler, Fresenius, Z. Anal. Chem., **321**, 65 (1985).
- [8] H. Daniel, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., **B3**, 65 (1984).
- [9] K. Shimomura, A. Koda, P. Strasser, N. Kawamura, H. Fujimori, S. Makimura, W. Higemoto, K. Nakahara, K. Ishida, K. Nishiyama, K. Nagamine, Y. Miyake, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., **A600**, 192 (2009).
- [10] H. Daniel, F. J. Hartmann, R. A. Naumann, Phys. Rev. A, **59**, 3343 (1999).
- [11] 上田道男, 日本銀行金融研究所「金融研究」第12巻, 第2号, p103 (平成5年)

Abstract :

Nondestructive, quantitative and multi-elemental analysis method for a bulk material was developed by over a decade-period research. This method is based on measurement of high-energy muonic X-rays emitted from muonic atoms inside material after muon irradiation. Recently, high-intense muon beam became available in J-PARC, Ibaraki. We demonstrated quantitative determination of the elemental composition inside ancient bronze coin without sample destruction. We also performed muon irradiation for an old Japanese gold coin (Tempo-koban) with various muon incident energy, achieved micro-meter-order non-destructive depth profiling by measuring muonic X-rays.

総説

福島原発事故に伴う飯館村の放射能汚染調査

遠藤 暁¹⁾、今中哲二²⁾、林 剛平³⁾、菅井益郎⁴⁾、小澤祥司⁵⁾、梶本 剛¹⁾

¹⁾広島大学大学院工学研究院、²⁾京都大学原子炉実験所、

³⁾東北大学加齢研究所、⁴⁾国学院大学、⁵⁾飯館村放射能エコロジー研究会

1. はじめに

2011年3月11日に発生した、東日本大震災およびその後発生した津波により、福島第一原子力発電所1～4号機では全交流電源喪失が発生し冷却機能を失った。地震波の検出により非常停止装置が起動し、制御棒が緊急挿入され原子炉は停止したものの、原子炉内に生成蓄積された核分裂生成物による崩壊熱を除去できなくなり、核燃料が溶けてしまうメルトダウン事故に至った。1号機においては、3月12日午後4時ごろに燃料被覆管のZrと水の化学反応で生成された水素ガスにより水素爆発が発生し、続いて3号機の水素爆発が発生、3月15日には2号機において圧力抑制室が損傷した。これらの損傷により多くの放射能が大気中に放出された。放出された放射能は、雨や雪により、福島県北西部から西部にかけて高い汚染を引き起こした。

広島大学大学院工学研究院では、広島原爆放射線線量評価グループ（主メンバー：葉佐井博巳（元広工大）、静岡 清（広大院工）、星 正治（元広島大原医研）、今中哲二（京大原子炉）、遠藤 暁（広大院工））を構成し、これまで原爆放射線の線量評価を行ってきた。この線量評価の経験を生かすことで、福島第一原発事故に伴う放射線被曝する人々を、少しでも減らせるかもしれないとの考えから、原発事故による放射能汚染調査を行うこととした。

1.1. 放射能の沈着

文部科学省および福島県は、既設のモニタリングポストの他、原発事故後に可搬型のモニタリングポストを設置し、福島県の各地域での空間線量の測定を行った。Figure 1に、飯館村、福島市、南会津町、いわき市および南相馬市のモニタリングポストで観測された空間線量率の時間変化を示す。南相馬において、3月12日に線量率の上昇が見られる。これは、1号機の水素爆発で放出

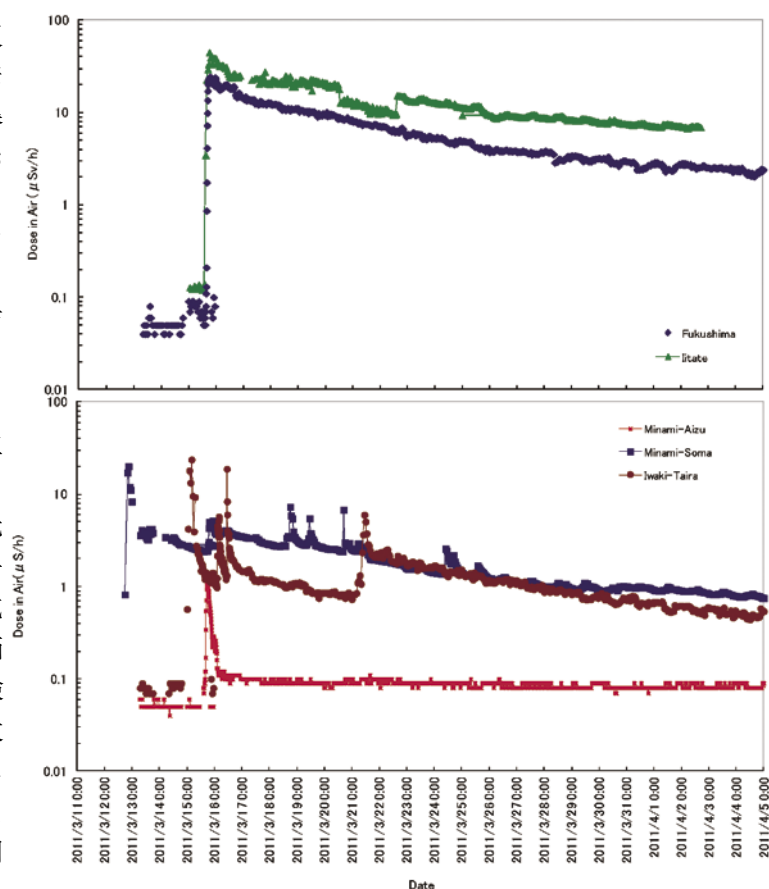


Figure 1 原発周辺地域のモニタリングデータ

された放射能が計測されたものである。特徴として、一旦ピーク形状を示した後に右下がりの指数関数的分布となる。ピーク形成は、不活性気体の $^{131,133,133m}\text{Xe}$ や ^{85}Kr が線量に寄与しているためと考えられる。その後の右下がりの連続分布は、放射性のTe, I, Csが沈着し、それぞれの半減期で崩壊するため指数関数的に減少している。南相馬市やいわき市では放射性不活性気体のピーク構造が観測されているが、福島市や飯舘村ではこの構造が確認できず、プルーム到来と沈着が一緒に起きたと考えられる。

1.2. 初期汚染調査

2011年には、福島県および宮城県を合わせ、十数回の汚染調査を行った。主な調査は、3つで、1) 福島第一原発周辺の汚染調査、2) 飯舘村の汚染調査、3) 南相馬市の汚染調査であった。

1) 福島第一原発周辺の汚染調査においては、1999年に東海村核燃料工場臨界事故以来の知人である、現獨協医科大学・木村真三准教授が、事故発生3日後の2011年3月15-16日にいち早く調査に乗り出し、三春町から福島原発へ向かい西から東へ移動しながら土壌と植物試料を採取した。広島大学においては、この採取した土壌試料の分析を行った。翌週、2011年3月20-21日の第2回目の汚染調査には、遠藤も加わった。本調査では、原発30 km圏内の汚染調査が主であり、いわき市から北上しながら葛尾村まで住民の避難場所として利用された小・中学校などで試料採取を行った。これらの試料は、広島大学で行った測定のみではなく長崎大学・高辻による測定も行いクロスチェックを行っている。更に、木村らは2011年3月28-30日には、南相馬市、浪江町赤宇木、福島市、郡山市などで試料採取した。これらの試料は、長崎大学によって測定された。土壌汚染濃度測定値を用いて、空間線量率の推定や外部被曝線量の推定などを行っている¹⁾。これらの調査は、事故が収束する前のデータが多く、後に公開される文部科学省の2 kmメッシュ調査の値よりも低い汚染濃度の地域も見られた。

2) 飯舘村汚染調査においては、2011年3月28-30日に、京都大原子炉・今中、國學院大・菅井、日本大・小澤、広島大・遠藤の4人で、高濃

度放射能汚染があると考えられる飯舘村の調査を行った。この調査では、高濃度放射能汚染地域である可能性が高いこと、また、その地域には住民が依然として生活していたことを考慮した調査であった²⁾。調査の概要は、参考文献³⁾において詳しくまとめられている。

3) 南相馬市の汚染調査は、広島大学大学院生物圏科学研究科・長沼毅准教授からの協力依頼によるもので、広島大学大学院工学研究科・静岡清教授を中心に、工学研究科量子エネルギー工学研究室として実施した。本調査では、主に2011年5月に作付し10月に刈入れした稲の測定を通して、汚染初期における米への放射性Csの移行を調べた⁴⁾。また、河川の水と底質の調査も並行して行った⁵⁾。

本レポートでは、2)の飯舘村の初期汚染調査^{2,3)}を紹介し、併せてその後継続している飯舘村調査で収集した測定データの一部も紹介する。

2. 飯舘村調査

2.1. 飯舘村調査の概要

飯舘村は、原発の北西およそ30-45kmに位置し、原発から放出された高濃度の核分裂生成物放射能に汚染された。広島大学、京都大学原子炉実験所、國學院大学および日本大学と共同で、飯舘村住民の被ばく線量を評価するため、2011年3月28-29日に現地調査を行った。

2011年3月28日に広島空港を出発し、同日9時半ごろ今中、菅井、小澤と東京都内のホテルに集合し、出発前の打ち合わせや装備品（ALOKA製ポケットサーベイメータPDR-101、ALOKA製電離箱式サーベイメータICS-313、ALOKA製アルファベータ用サーベイメータTCS-352、個人用積算計としてはALOKA製電子ポケット線量計PDM-111）の点検を行った。その後、レンタカーを借り、再開したばかりの東北自動車道を利用して福島方面へ出発した。遠藤は、調査中にPDM-111の被曝線量を随時確認し、時間と共に記録していた。その結果をFigure 2に示す。Figure 2(a)は、積算被曝線量(μSv)、(b)はメモした測定時間間隔で積算線量の増加量を除して得られる線量率($\mu\text{Sv/h}$)を示している。上

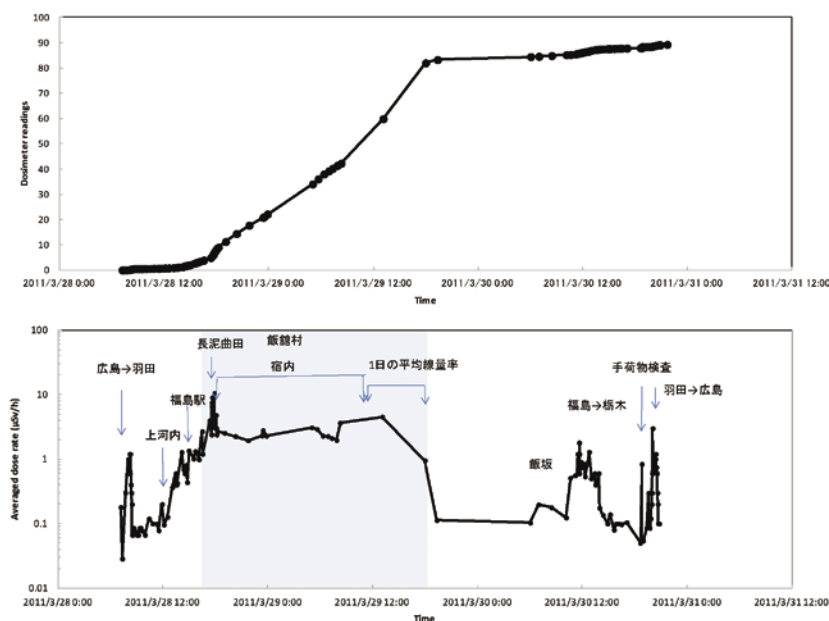


Figure 2 個人被曝線量計 (PDM-101) の測定データ

河内サービスエリア敷地内での放射線量率は $0.26 \mu\text{Sv/h}$ 、高速道路車中では、Figure 2 (b) に示す通り、東京出発時 $0.1 \mu\text{Sv/h}$ であったが、福島市に近づくにつれ $1 \mu\text{Sv/h}$ 前後の値まで徐々に上昇した。15 時頃に JR 福島駅前の駐車場に到着した。駐車場のアスファルト上では $0.8 \sim 0.9 \mu\text{Sv/h}$ 、脇の草地では $4 \mu\text{Sv/h}$ であった。駅前の駐車場で迎えに来た飯舘村役場のワゴン車に乗り換え、17 時前に飯舘村役場に到着した。飯舘村・菅野村長に面会し調査の目的などを説明し、その後、汚染が高いと予想された村南側の下見を行った。その夜は、役場に隣接する「までいな家」を宿舎として提供してもらい、村内に宿泊した。翌日は、朝から 17 時ごろまで調査を行い、調査結果を菅野村長に報告した後福島市内に宿泊し、翌日 3/30 お昼前にレンタカーで東京を目指し出発した。その夜、航空機で帰広した。

Figure 2(a) より、飯舘村に滞在した期間 3 月 28 日 17 時—3 月 29 日 18 時における積算被曝線量は、おおよそ $80 \mu\text{Sv}$ であったことがわかる。放射線作業従事者が放射線作業を行うときに身につけるフィルムバッジ等の個人被曝モニターの被曝線量の記録レベルの判断に利用される 0.1 mSv 以下であり放射線作業従事者が飯舘村に一日間滞在することは、問題になる被曝ではない。

しかしながら、飯舘村に居住する住民の被曝を考えると、既に汚染から 2 週間経過しているため、数 mSv の高い被曝線量であることは間違いない。Figure 2(b) において、下見を行った長泥地区では $\sim 10 \mu\text{Sv/h}$ (滞在時間が短いため、実際の線量率よりやや過小評価となっている) ことや、ハッチで示した線量率から、宿泊施設「までいな家」の屋内においてさえ $3\text{--}4 \mu\text{Sv/h}$ とバックグラウンドの 40–100 倍の線量率であった。参考のため、福島駅、飯舘村長泥、航空機中の線量率など参考になる部分を矢印で示した。参考として、国内便機内の上空での γ 線被曝線量率が $1\text{--}1.5 \mu\text{Sv/h}$ 程度であり、航空パイロットや客室乗務員の職業被曝が議論されている。宿泊施設内の線量率は、その線量率の倍以上の値であった。

2.2. 空間線量率の測定結果

3 月 29 日の調査では、飯舘村の協力を得て、飯舘村公用ワゴン車で村内をまわり数 100 m 間隔、計 140 地点の空間線量率を空間線量サーベイメータ (アロカ PDR-101) で測定した。空間線量率測定地点と測定値を Figure 3(a)、(b) に示す。空間線量率は、ワゴン車内において村役場周辺で $3\text{--}5 \mu\text{Sv/h}$ 程度あり、村北部では $1\text{--}2 \mu\text{Sv/h}$ 、村南部の長泥地区では、PDR-101 の測定限界

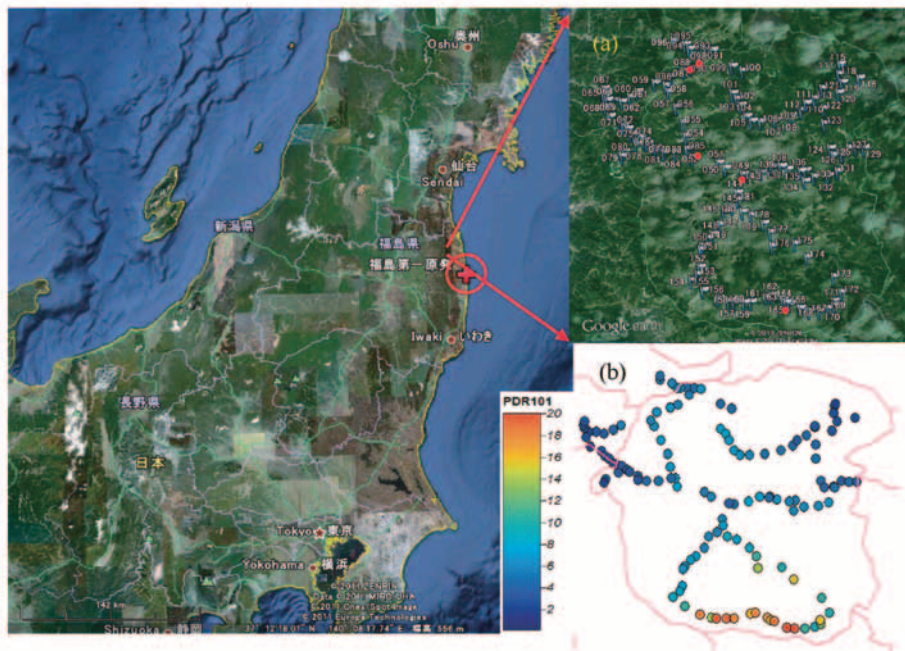


Figure 3 (a)空間線量率測定地点、#49, #53, #88, #98, #165(●)において、土壌5cmを採取した。(b)2011年3月の空間線量率測定値。単位は $\mu\text{Sv/h}$ 。

20 $\mu\text{S/h}$ を超えていた。

ワゴン車内で測定した線量マップ Figure 3(b)を用いて、GISソフトウェア (SAGA-GIS) を利用し内挿を行った。内挿で得られたマップを

Figure 4(a)に示す。飯舘村南部の高い放射線量率の様子がわかる。空間線量率はワゴン車内で測定した値である。ワゴン車の内部と外部での線量率を数か所で測定し比を求めたところ、 0.64 ± 0.08

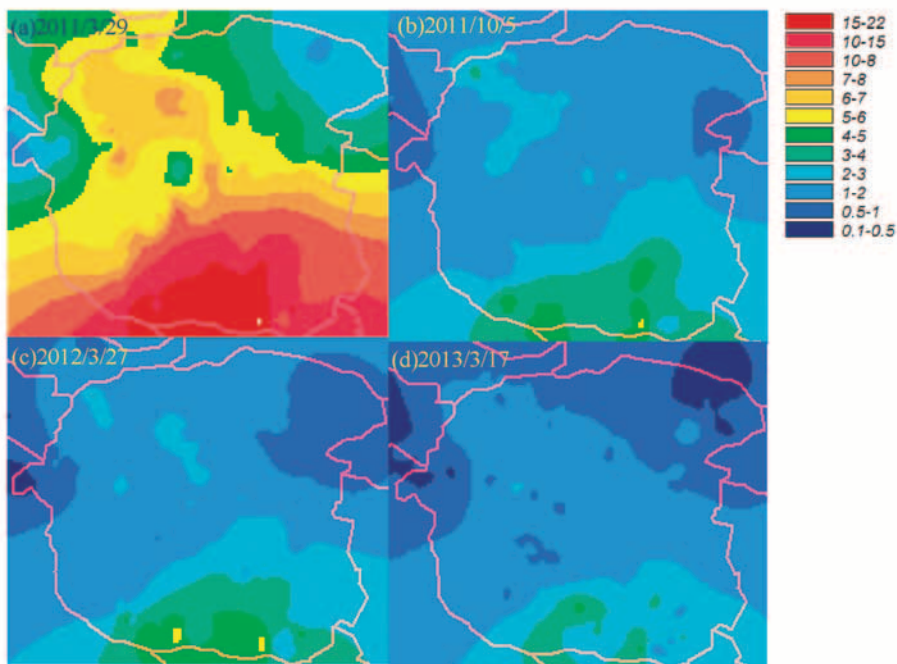


Figure 4 (a)2011年3月、(b)2011年10月、(c)2012年3月、(d)2013年3月の空間線量率マップ。単位は $\mu\text{Sv/h}$ 。

が得られている。この因子を補正することでワゴン車外での空間線量率の推定も可能である。飯館村の空間線量測定は、2011年3月以降、これまでに2011年10月、2012年3月および2013年3月の4回、同様の手法で測定を継続している。参考のため、2011年10月、2012年3月、2013年3月の空間線量率マップをFigure 4 (b)-(d)に示す。時間の経過とともに急速に空間線量率が減少した様子がわかる。しかしながら、2013年3月においても飯館村南部長泥地区では、ワゴン車内で $3 \mu\text{Sv/h}$ (ワゴン車外で $5 \mu\text{Sv/h}$) を超える線量率が観察されている。

2.3. 土壌の γ 線測定

また、空間線量率の時間変化を推定するため、#49, #53, #88, #98, #165の5地点において土壌の採取を行った。2011年3月の土壌採取では、ガーデニング用採土器を利用し、表層から5 cmおよび10 cmの2種類の深さで土壌を採取した。飯館村の土壌採取についても、2011年10月、2012年3月および2013年3月の4回調査を継続している。土壌の採取法は、2011年10月以降30 cmコア採取に、また土壌処理法も乾燥した後2 mmメッシュの篩にかけホモジナイズする処理に変更している。30 cm コアは深さ方向に、0-2.5、2.5-5、5-10、10-15、15-20、20-25、20-30 cmの7つに切り分け土壌中への浸み込みの有無を観察している。

処理後の土壌は、40 gを取り分け、広島大学

大学院工学研究科放射線実験室・Ge検出器を用いて、放射能を測定した。まず、測定スペクトルの例をFigure 5に示す。Figure 5より ^{129}Te , $^{129\text{m}}\text{Te}$, ^{132}Te , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{136}Cs , ^{140}La が確認できる。半減期の短い ^{132}Te や ^{131}I は、半減期が3日程度であり、初期調査であったために検出できている。また、測定された核種は主に揮発性の核種であり、原子炉から放出された放射能は、ガス状であると推測していた。これらの計数率をもとに汚染濃度を決定した。土壌は、 $5.5 \text{ cm} \times 7.5 \text{ cm}$ の楕円形の採泥器を用いたので、採取面積は 32.4 cm^2 を用いた。40 g中に含まれる測定時点での放射能を決定し、試料重量全体の放射能を導出し、採取面積で除した値を沈着密度(kBq/m^2)を推定した。当初の測定では、カスケード γ 線に対するサム補正を行っていなかった。ここでは、 ^{134}Cs に対して14%のサム補正を行った。得られた沈着密度を、Table 1にまとめる。土壌採取場所の空間線量率は、#165(長泥曲田)では、 $24 \mu\text{Sv/h}$ 、それ以外の4地点では、およそ $10 \mu\text{Sv/h}$ であった。また、汚染密度の揺らぎを評価するために、#49(飯館村役場の花壇)1地点において $50 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ 程度の範囲から、5試料を採取した土壌についても、同様に沈着密度を求めた。沈着密度のばらつきは、15%程度であった。

これらの、汚染密度を用いて、空間線量率の時間変化を推定した。計算には、汚染密度から、地上1 m高さでの空間線量率への変換係数⁸⁾を利

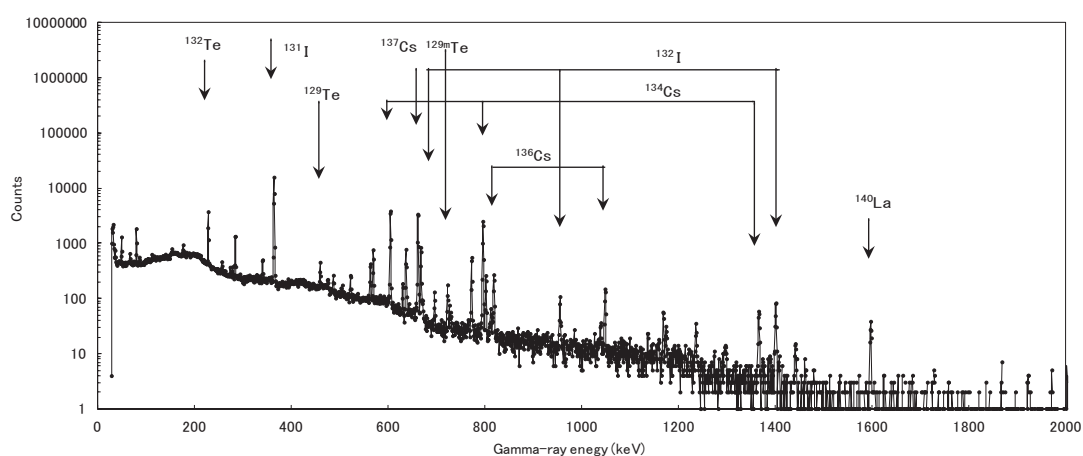


Figure 5 #53で採取した土壌の γ 線スペクトル。

Table 1 #49, #53, #88, #98, #165 土壤の汚染密度。

	Half life	contamination (kBq/m ²)				
		白石(#53)	佐須(#98)	山津見神社(#88)	村役場(#49)	長泥曲田(#165)
^{129m} Te	33.6 d	566 ± 15.1	565 ± 14.2	551 ± 10.2	535 ± 7.3	1637 ± 19.2
¹²⁹ Te	69.6m	438 ± 8.9	457 ± 8.6	340 ± 7.5	370 ± 4.1	1245 ± 11.2
¹³¹ I	8.021 d	2865 ± 5.5	2738 ± 4.2	2329 ± 3.2	1872 ± 1.9	4347 ± 5.1
¹³² Te	3.204 d	151 ± 19.9	155 ± 10.1	119 ± 8.4	130 ± 5.5	485 ± 16.3
¹³² I	2.295 h	172 ± 19.3	195 ± 8.9	146 ± 6.9	176 ± 5.5	551 ± 17.0
¹³⁴ Cs	2.065 y	1010 ± 1.4	797 ± 1.3	573 ± 0.9	665 ± 4.6	2405 ± 1.8
¹³⁶ Cs	13.16 d	59 ± 1.1	47 ± 0.9	35 ± 0.6	44 ± 0.5	152 ± 1.2
¹³⁷ Cs	30.04 d	1046 ± 1.6	838 ± 1.5	590 ± 1.1	740 ± 0.8	2217 ± 2.2
¹⁴⁰ Ba	12.75 d	19.0 ± 4.3	18.6 ± 3.2	11.8 ± 2.3	17.7 ± 1.9	43.2 ± 5.2
¹⁴⁰ La	1.678 d	24.0 ± 0.8	27.9 ± 0.7	17.6 ± 0.5	20.7 ± 0.3	53.6 ± 0.8
¹³¹ I/ ¹³² I	-	16.6 ± 1.86	14.0 ± 0.64	15.96 ± 0.75	10.6 ± 0.36	7.89 ± 0.25
¹³¹ I/ ¹³⁷ Cs	-	2.7 ± 0.007	3.3 ± 0.01	3.95 ± 0.01	2.53 ± 0.004	1.96 ± 0.003
¹³² I/ ¹³² Te	-	1.14 ± 0.18	1.26 ± 0.08	1.22 ± 0.08	1.35 ± 0.06	1.13 ± 0.05
¹³⁷ Cs/ ¹³⁶ Cs	-	17.7 ± 0.32	17.9 ± 0.34	17.0 ± 0.30	16.7 ± 0.18	14.6 ± 0.12
¹³⁷ Cs/ ¹³⁴ Cs	-	1.04 ± 0.01	1.05 ± 0.01	1.03 ± 0.01	1.11 ± 0.01	0.92 ± 0.01

用した (Table 2)。2011 年の解析時は、放射能が平面に均一に分布している仮定 (plane) を用いたが、現在では、リラクゼーションデプス 0.5-1 g/cm² の変換係数を利用している。このリラクゼーションデプスの範囲は、次節に示す ¹³⁷Cs 放射能濃度の深さ分布と矛盾の無い値である。リラクゼーションデプス 0.5 g/cm² を仮定し 2011 年 3 月 15 日の空間線量率を導出し、各放射能の半減期で減衰させることで、空間線量率の時間経過を求めた。結果を Figure 6 に示す。比較のため、

飯館村が公開しているモニタリングポスト空間線量率測定値 (MP) に、村役場のロータリーで測定した空間線量率と土壤採取した花壇上での空間線量率の比：9.6/6.5 を乗じた値をプロットした。空間線量率の計算値と測定値は、おおよそ一致しており、この評価が有効であることを示している。沈着初期の空間線量率は、¹³²I が外部被曝線量に大きく寄与し支配的であることが図よりわかる。

参考のため、最も空間線量率が高かった長泥曲

Table 2 リラクゼーションデプス 0.16 および 1.6 g/cm² に対する変換係数汚染密度・空間線量率変換係数⁸⁾。

	Half life (d)	plane	(μGy/h)/(kBq/m ²)	
			0.16 g/cm ²	1.6 g/cm ²
Te-129m	33.6	0.561	0.487	0.322
Te-129	33.6	1.04	0.912	0.611
I-131	8.021	7.3	6.32	4.34
Te-132	3.204	3.84	3.38	2.29
I-132	3.204	42.1	36.6	24.3
Cs-134	754.241	29	25.4	16.8
Cs-136	13.16	39.2	34.2	22.8
Cs-137	10958	10.7	9.28	6.15

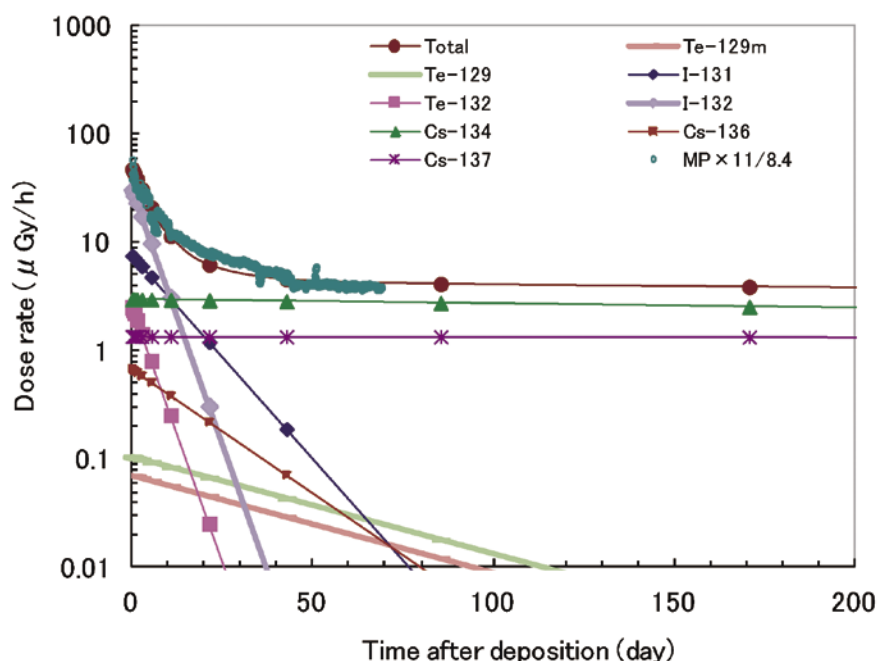


Figure 6 汚染濃度から算出した飯館村役場空間線量率（土壌上）。

田における空間線量率の時間変化を Figure 7 に示す。2011年3月15日時点では、 $\sim 150 \mu\text{Gy/h}$ 程度と予想される。また、沈着初期においては ^{132}I による線量が最も高く、2週間程度経過後 ~ 3 年までは ^{134}Cs による線量が主となる。更にそ

の後徐々に ^{137}Cs による線量が主となることがわかる。同 Figure 7 に、2011年10月、2012年3月、2013年3月に実施した空間線量率測定の結果（空気カーマ/1 cm線量当量比を乗じた値）も併せて示した。水田上における放射線量の実測値（●）

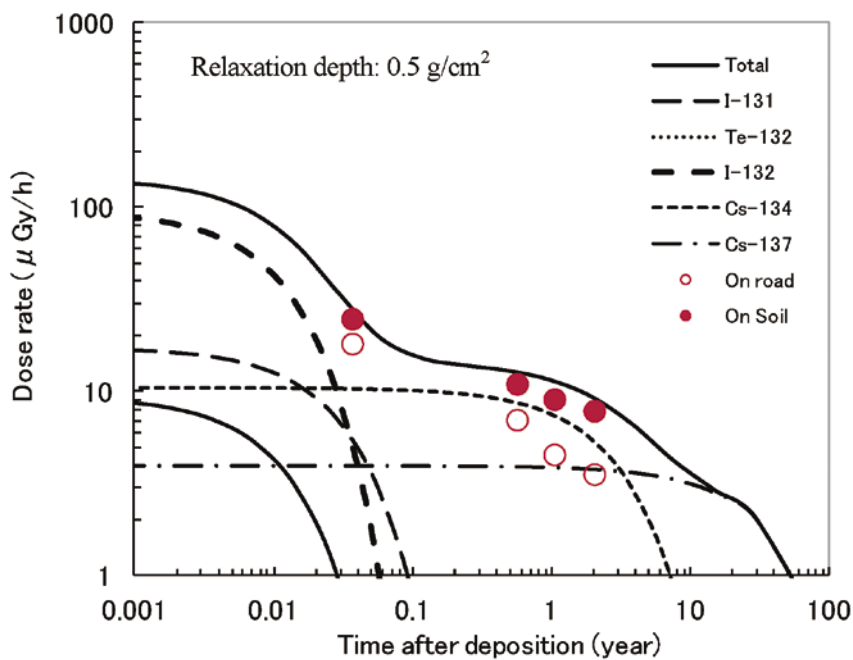


Figure 7 長泥曲田水田の空間線量率時間変化推定値および実測値。
●：水田実測値（ $\mu\text{Gy/h}$ ）、○：水田脇道路：実測値（ $\mu\text{Gy/h}$ ）

は、僅かに推定値より早い減衰を示しており、環境中半減期を反映しているものと考えられる。この傾向が更に顕著なのは道路上で測定した実測値 (○) である。時間の経過とともに推定値の2倍程度速い減衰を示している。道路上では、放射性Csが雨等により洗い流され道路脇へ移動しているためと考えて矛盾が無い。

2.4. ^{137}Cs 放射能濃度 (Bq/g) の深さ分布

30 cm 土壌コアを用いた深さ分布の例として、2011年10月以降に採取・測定した ^{137}Cs 汚染濃度の測定結果を Figure 8 に示す。汚染濃度は崩壊補正し2011年3月15日の値に補正している。2013年3月の測定では、 ^{137}Cs 以外に ^{134}Cs およ

び表層部分に $^{110\text{m}}\text{Ag}$ が検出されている。しかしながら、 $^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs}$ は崩壊補正後ほぼ1であることや $^{110\text{m}}\text{Ag}$ は表層で検出されているのみのため深度分布の参考にならないなどの理由から、ここでは ^{137}Cs についてのみ示している。Figure 8 (a) は道路脇花壇、(b) 長泥曲田水田の ^{137}Cs 放射能濃度 (Bq/g) を表している。道路脇花壇では、2011年3月の試料は5 cm 深さ、2012年3月および2013年3月の試料では2.5 cm 深さであるため、大部分の ^{137}Cs が表面2.5cm 以内にあることを考えると、2011年の測定値はおおよそ半分の濃度に相当すると考えられる。この補正を行った線を赤線で Figure 8(a) 中に示してある。この補正を行うと2011年3月から2013年3月の期間

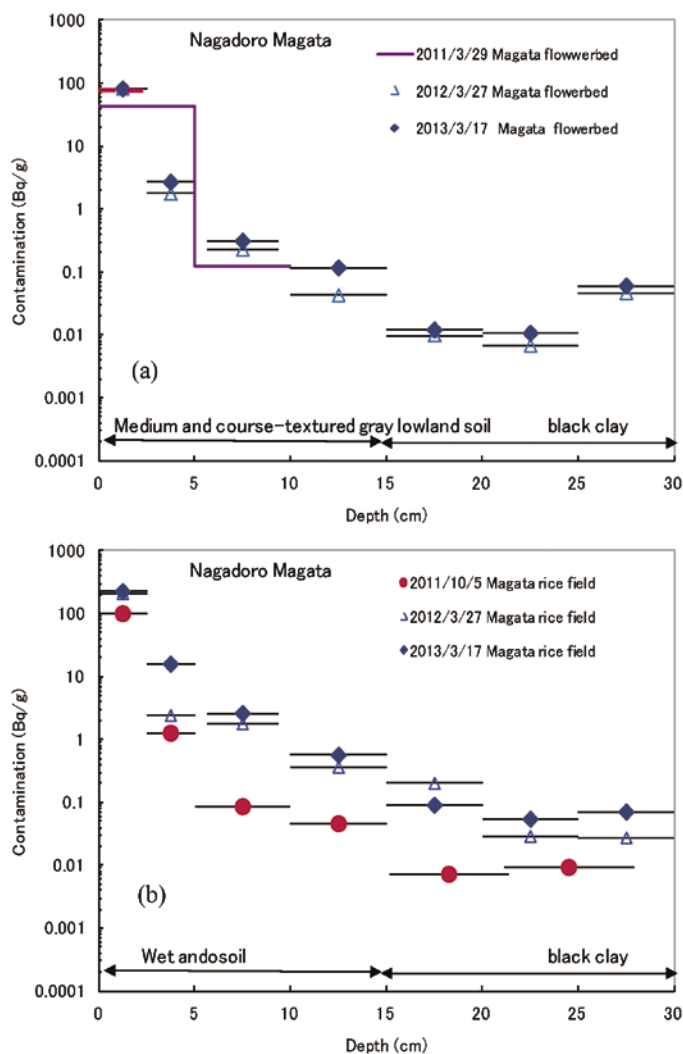


Figure 8 (a)長泥曲田道路脇花壇、(b)長泥曲田水田の汚染濃度深さ分布。深さの誤差棒は、コア切り分けサイズを示す。

内において、放射性Csに大きな移動がないことを示している。これに対し、長泥曲田水田の測定値では、2011年10月と2012年3月と2013年3月の結果には有意な違いがあり、放射性核種の移動の傾向を示している。

2.5. 外部被曝積算線量

Figure 6に示した時間変化を仮定すると、事故当初から1年間の積算被曝線量が推定できる。Figure 1(b)の測定値を、ワゴン車内/外の比： $r_{io}=0.64(\pm 0.08)$ で割ることで、ワゴン車外における線量率を推定できる。一方、積算線量への変換係数は、Figure 7の2011年3月29日の線量率と1年間の積算線量の比： r_c で与えられる。Figure 2(b)の測定値に r_{io} と r_c を補正し、SAGA-GISで内挿したマップをFigure 9に示す。このマップは、野外における線量で、更に環境中における減衰や除染などによる減少は無視している。文部科学省で作成した放射線量マップにおいては屋内の遮蔽係数を0.4および屋内滞在時間16時間を仮定し平均的な遮蔽係数 $0.6(0.4 \times 16/24 + 1.0 \times 8/24 = 0.6)$ を利用している⁹⁾。この遮蔽因子を仮定すれば、Figure 9と大きな矛盾は無い。したがって、人の被曝を議論するには遮蔽因子や他の多くのパラメータを仮定しなければならないが、汚染初期の危険度の判断には有効である。また、初期に行った動植物の試料の被曝

線量推定を行うときにも利用可能である。

2.6. β 線による空間線量率

2012年以降、原発事故の放射能汚染による環境への影響を考察するため、昆虫の突然変異に関する研究結果が報告^{10,11)}されている。 β 線の空間線量を推定することとなったきっかけは、琉球大学・大瀧がまとめたヤマトシジミの突然変異の論文¹⁰⁾に始まる。ヤマトシジミは、カタバミの葉に卵を産みつけ幼虫の間、地面を這いまわる。汚染が起きた3月の時期は、卵ないし幼虫の状態である。また、卵や幼虫は、大きさや体調が数mmと小さく、通常皮膚線量としてしか被曝に寄与しない β 線も小さな昆虫にとっては全身被曝と同様になる。したがって、昆虫の被曝線量を扱うためには、地面周辺の β 線の推定が必要である。そこで、 1000 kBq/m^2 の ^{137}Cs の沈着が起きている場所の β 線空間線量の推定を、モンテカルロ計算を用いた推定を行った¹²⁾。詳しい計算法は、参考文献¹²⁾を見て頂くとして、結果の一部を示す。 1000 kBq/m^2 の ^{137}Cs の沈着（土壌深さ5mmに均一に分布を仮定）の地面表面での β 線線量率の時間変化をFigure 10(a)に、 β 線線量率と γ 線線量率の比の時間変化をFigure 10(b)に示す。図より 1000 kBq/m^2 の ^{137}Cs の沈着地域の β 線線量率は、沈着初日～ $200 \mu\text{Gy/h}$ であることがわかる。飯舘村では、Table 1に示すよう

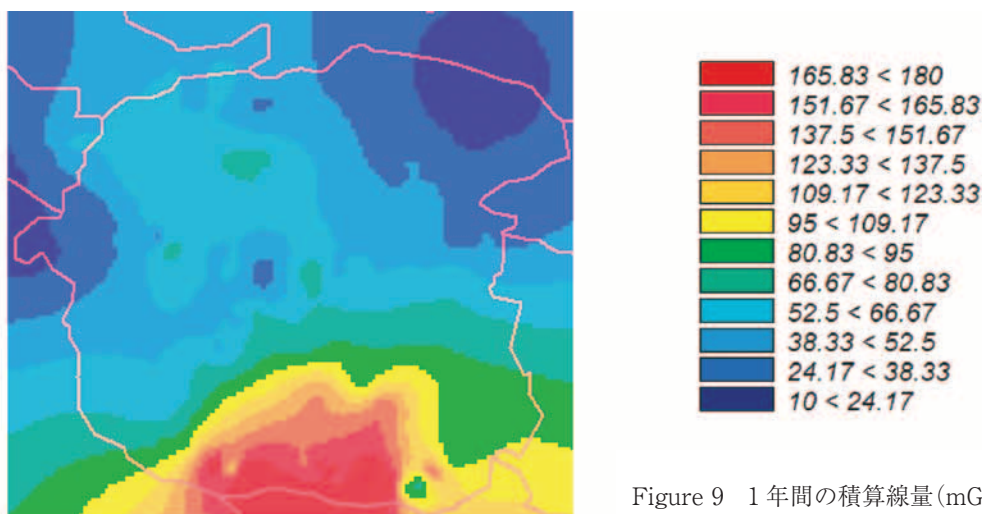


Figure 9 1年間の積算線量(mGy)

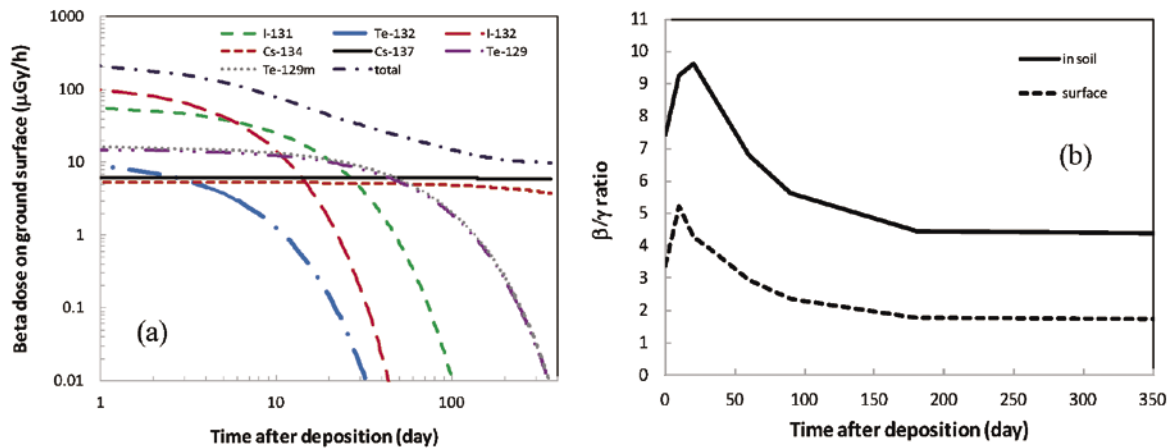


Figure 10 (a) 1000 kBq/m^2 の ^{137}Cs の沈着（土壌深さ 5 mm に均一に分布を仮定）条件での地面表面 β 線量率の時間変化、(b) β 線量率 / γ 線量率比の時間変化

に、白石の汚染濃度がその程度である。ちなみに、白石の γ 線量率は、Figure 7 の計算と同様にすると γ 線量率 $\sim 60 \mu\text{Gy/h}$ が得られる。Figure 10(b) の土壌表面の β/γ 比と一致することがわかる。

この β/γ 比を用いると γ 線量率の測定値があれば、 β 線量を推定できる点で便利である。今後、ヤマトシジミの被曝線量の推定ができるかを検討する予定である。

3. 最後に

2011 年 3 月に発生した福島第一原発事故の初期調査について、当時の活動の紹介した。それらのデータは既に論文となっており、ここで再度紹介するのはやや気が引けるところがあった。そのため、その後のデータの一部を追加紹介することとした。事故後およそ 3 年の経過とともに、多くの研究者により、より詳しいデータが積み上げられている。今後の研究において、何か参考になるところがあれば幸いである。

謝辞

本稿は、広島大学大学院理学研究科・高橋嘉夫先生からの依頼で原発事故当時の調査を紹介したものである。福島第一原発事故の初期調査について、当時の活動の紹介をする機会を頂いたこと、この場を借りて感謝する。

文献

1. S. Endo, S. Kimura, T. Takatsuji, K. Nanasawa, T. Imanaka, K. Shizuma, Measurement of soil contamination by radionuclides due to Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident and associated cumulative external dose estimation, J. Environm. Radioact. 111, 18-27, 2012.
2. T. Imanaka, S. Endo, M. Sugai, S. Ozawa, K. Shizuma, M. Yamamoto, Early radiation survey of the Iitate Village heavily contaminated by the Fukushima Daiichi accident, conducted on March 28th and 29th, 2011, Health Phys. 102(6):680-686; 2012.
3. 今中哲二、遠藤暁、菅井益郎、小澤祥司、福島原発事故にともなう飯館村の放射能汚染調査報告、岩波書店『科学』81,(2), 0594-0600, 2011.
4. S. Endo, T. Kajimoto, K. Shizuma, Paddy-field contamination with ^{134}Cs and ^{137}Cs due to Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident and soil-to-rice transfer coefficients, E. vironm Radioact. 116, 59-64, 2013.
5. T. Kajimoto, S. Endo, T. Naganuma, K. Shizuma, Distribution of radioactive ^{137}Cs and ^{134}Cs in river water and bottom sand

- for major rivers at Minami-Soma City in Fukushima, KURRI Research Program for Scientific Basis of Nuclear Safety, ISBN-978-4-9906815-0-0, 2-08, 2012.
6. K. Shizuma, T. Kajimoto, S. Endo, Early air sampling in Higashi-Hiroshima after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident and subsequent sampling in Minami-Souma City from October 2011 to September 2012, KURRI Research Program for Scientific Basis of Nuclear Safety, ISBN-978-4-9906815-0-0, 2-12, 2012.
 7. S. Endo, T. Kajimoto, K. Shizuma, Dose rate estimation for northern Miyagi prefecture area in the early stage of the Fukushima Accident, International Symposium on Environmental monitoring and dose estimation of residents after accident of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Stations, KURRI Research Program for Scientific Basis of Nuclear Safety, ISBN-978-4-9906815-0-0, 2-02, 2012.
 8. Beck, H.L., 1980. Exposure Rate Conversion Factors for Radionuclides Deposited on the Ground. U.S. Department of Commerce, Springfield, Virginia 22161. EML-378.
 9. Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT), 2011. http://radioactivity.mext.go.jp/ja/monitoring_around_FukushimaNPP_integrated_dose_out_of_20km/ (accessed 24.10.11), (in Japanese).
 10. Hiyama A, Nohara C, Kinjo S et al. The biological impacts of the Fukushima nuclear accident on the pale grass blue butterfly. *Sci Rep* 2012;2:570.
 11. Shin-ichi Akimoto, Morphological abnormalities in gall-forming aphids in a radiation-contaminated area near Fukushima Daiichi: selective impact of fallout?, *Ecology and Evolution*, doi: 10.1002/ece3.949, 2014.
 12. S. Endo, K. Tanaka, T. Kajimoto, N. Tat THANH, J. M. Otaki, T. Imanaka, Estimation of β -ray dose in air and soil from Fukushima Daiichi Power Plant accident, *J. Radiat. Res.*, pp 1-8 doi: 10.1093/jrr/rrt209, 2014.

◆◆◆ ニュース (学会賞受賞者による研究紹介) ◆◆◆

時間分解蛍光分光法によるアクチノイドおよびランタノイドの 溶液化学に関する研究

木村貴海 (日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門)

1. はじめに

原子力バックエンドにおける使用済燃料の再処理や放射性廃棄物の処理・処分などに関わる革新的技術の開発を推進するためには、アクチノイドの溶液化学に関する基礎基盤研究を充実させることが不可欠である。アクチノイドに限らず金属イオンの挙動や反応を分子レベルで追究するには、イオンの状態分析が何よりも重要と考えられるが、その目的に利用できる分析技術や知識はまだ不十分である。筆者がイオンの状態分析法として研究開発を進めてきたレーザー誘起分光法の中で、とくに時間分解レーザー誘起蛍光分光法 [TRLFS: Time-resolved Laser-induced Fluorescence Spectroscopy] は、発光イオンの高感度かつ高選択的な分析手段としてだけでなく、その構造および熱力学的な性質をも測定可能な用途の広い方法として、現在ではアクチノイド研究にとって重要な研究手段の一つとなっている。TRLFSでは試料の励起スペクトル、発光スペクトルおよび発光寿命を測定することでイオンの濃度、状態などの情報を取得するが、研究開始当時、アクチノイドに関しては主に発光スペクトルによる状態分析が報告されていた。現在のようにTRLFSが多用されるようになったのは、筆者が世界に先駆けて開発、確立した発光寿命測定による Cm、Am などの3価イオンの内部水和数(イオンの第1配位圏の水分子数)の決定法によるところが大きい。この方法は、イオンの励起状態が主として配位水のOH伸縮振動へのエネルギー移動により緩和され、そのOH振動子の数(内部水和数)に発光寿命が逆比例することを原理とする。以下に3価イオンの水和研究から始まる一連の研究について概説する。各論の詳細については、原報を参照していただきたい。

2. 3価アクチノイド・ランタノイドの水和研究

Cm(III)を対象に内部水和数 N_{H_2O} と発光寿命 τ_{obs} の関係を検討した¹⁾。²⁴⁸Cm の D₂O-H₂O 混合溶液の τ_{obs} の測定から、H₂O のモルフラクションと $1/\tau_{obs}$ は比例関係にあり、さらに水和構造が既知の5種類のランタン化合物に微量の²⁴⁸Cmをドープした化合物の τ_{obs} の測定から、Cm(III)の N_{H_2O} と τ_{obs} (ms) は次の関係にあることを初めて明らかにした (Fig. 1)。

$$N_{H_2O} = 0.65 (1/\tau_{obs}) - 0.88 \quad (1)$$

比較のために Eu(III) でも同様の測定を行い、既知の報告と一致することを確認、(1)式を Cm(III) の N_{H_2O} 決定式とした。(1)式の有効性をさらに確かめるため、一連のポリアミノポリカルボン酸錯体 (NTA, EDTA, DTPA など) の τ_{obs} の測定や、それまでの文献に報告された各種溶液系

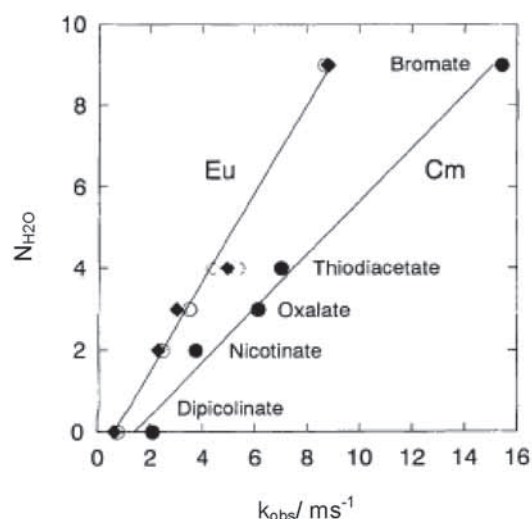


Fig. 1 Calibration of k_{obs} ($=1/\tau_{obs}$) vs. N_{H_2O} for Cm(III) or Eu(III) doped lanthanum compounds: ●, this work (La-Cm, $[La]/[Cm] = 6.9 \times 10^3$); ◆, this work (La-Eu, $[La]/[Eu] = 50$); ○, ◇, Refs. (Eu).

の τ_{obs} から $N_{\text{H}_2\text{O}}$ を計算したところ、ほぼすべての $N_{\text{H}_2\text{O}}$ は化学的に妥当な値であることが確認できた²。一例として、Table 1 に Cm(III) の加水分解種、炭酸錯体などの発光特性を示す。単に文献に報告のあった τ_{obs} が、(1) 式により化学的に意味のある $N_{\text{H}_2\text{O}}$ に変換できた。さらに、Am(III) やいくつかの3価ランタノイドについて、適切な励起波長と発光波長を選択するとともに (Fig. 2)、D₂O-H₂O 混合溶液やポリアミノポリカルボン酸錯体を用いて、(1) 式と同様な相関を導出した³⁻⁵。とくに、Cm(III)、Am(III)、および3価ランタノイド (Nd, Sm, Eu, Tb, Dy) のポリアミノポリカルボン酸錯体の配位状態の比較から、第1配位圏の総配位数には、Cm(III)、Am(III)、

Nd(III)、Sm(III) > Eu(III)、Tb(III)、Dy(III) の関係があることを見出した^{1,4,5}。また、室温と液体窒素温度 (77 K) における NaCl, NaNO₃ および NaClO₄ 溶液中の3価ランタノイド (Sm, Eu, Tb, Dy) について τ_{obs} を測定することにより、それらの水和状態および錯形成について明らかにした⁶。以上のように、溶液および固体中における3価イオンの水和状態を τ_{obs} の測定という簡便な方法で定量化できる方法を確立した。

一方、3価イオンは非常に親水的なため、非水溶媒中での溶媒和研究の進展は水和研究に比べて遅い。そこで、非水溶媒中におけるアクチノイド(III)とランタノイド(III)の溶媒和研究の基礎として、純溶媒及び混合溶媒中における各イ

Table 1 Luminescence spectroscopic characteristic of Cm(III) species

Species	Excitation (nm)	Emission (nm)	Lifetime (μs)	$n_{\text{H}_2\text{O}}^a$
Cm ³⁺	375.4, 381.3, 396.5	593.8	65 ± 2	9.1 ± 0.3
Cm(OH) ²⁺	376.0, 381.6, 397.5	598.8	72 ± 2	8.2 ± 0.3
Cm(OH) ₂ ⁺	377.4, 384.2, 399.2	603.5	80 ± 10	7.3 ± 1.1
Cm(CO ₃) ⁺	376.5, 382.5, 397.5	598.0	85 ± 4	6.8 ± 0.4
Cm(CO ₃) ₂	377.5, 384.5, 398.9	605.9	105 ± 5	5.3 ± 0.3
Cm(CO ₃) ₃ ³⁻	377.5, 384.1, 399.9	607.6	215 ± 6	2.1 ± 0.1
Cm humate	376, 383, 398 ^b	601.0	72 ± 5 (80%) ^c 145 (20%)	8.2 ± 0.7 3.6
Cm fulvate	374, 382, 398.5 ^b	600.3	70 ± 5 (80%) ^c 142 (20%)	8.4 ± 0.7 3.7

^a $n_{\text{H}_2\text{O}} = 0.65k_{\text{obs}}(\text{ms}^{-1}) - 0.88$. ^b Strongly broadened. ^c Biexponential decay fitted.

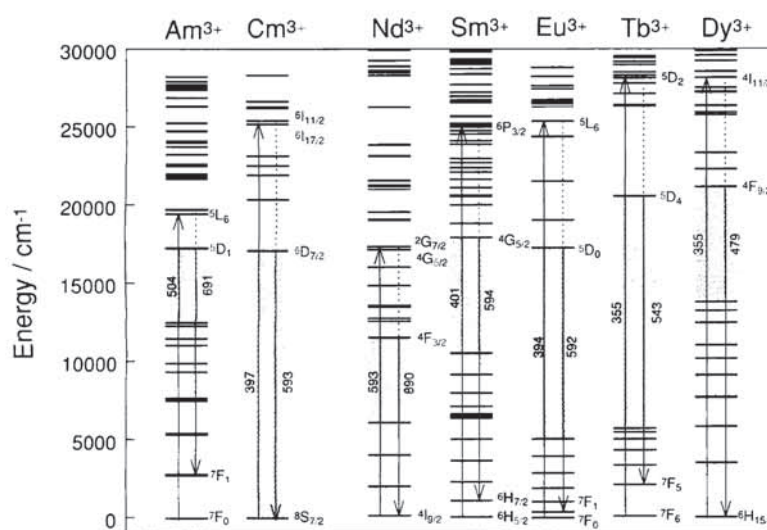


Fig. 2 Energy-level structure of actinide(III) and lanthanide(III) ions and the excitation and emission wavelengths used in the experiments. Upward and downward arrows denote the excitation and emission processes, respectively.

オンの τ_{obs} と溶媒和の関係について検討した^{7,8}。Am(III)、Cm(III) およびいくつかのランタノイド(III) について、非水溶媒および水との混合溶媒中での τ_{obs} を測定した結果 (Table 2)、アクチノイド(III) やランタノイド(III) の無放射緩和速度や水素同位体効果を理解する上で、エネルギー

ギャップ Fig. 3 の横軸と同じ (発光準位とその下の準位とのエネルギー差) がよい指標となること (Fig. 3)、第1配位圏内の水和数や溶媒組成などの選択溶媒和に関する情報が得られることを明らかにした。

Table 2 Luminescence lifetimes (μs) of actinide(III) and lanthanide(III) ions in perprotonated and perdeuterated solvents.

Ion	Am(III) $5f^6$	Cm(III) $5f^7$	Nd(III) $4f^3$	Sm(III) $4f^5$	Eu(III) $4f^6$	Tb(III) $4f^8$	Dy(III) $4f^9$
H ₂ O	0.025	65	0.032	2.7	110	430	2.5
D ₂ O	0.16	1200	0.17	64	3900	4100	43
τ_D/τ_H	6.4	18	5.3	24	35	9.5	17
MeOH	0.034	190	0.054	4.6	230	890	3.6
MeOD- <i>d</i> ₄	0.31	880	0.40	93	4100	5200	69
τ_D/τ_H	9.1	4.6	7.4	20	18	5.8	19
DMF	0.18	420	0.49	20	1700	1900	14
DMF- <i>d</i> ₇	1.0	770	2.0	250	2300	2000	170
τ_D/τ_H	5.6	1.8	4.1	13	1.4	1.1	12
DMSO	0.77	870	2.0	22	1700	2800	12
DMSO- <i>d</i> ₆	5.7	1100	12	610	3200	3200	330
τ_D/τ_H	7.4	1.3	6.0	28	1.9	1.1	28

[Ln] = 1.0×10^{-2} M, [Am] = 1.9×10^{-5} M, and [Cm] = 1.1×10^{-6} M.

M(ClO₄)₃ · *n*H₂O was dissolved in the solvents.

The experimental errors of the lifetimes are within $\pm 3\%$.

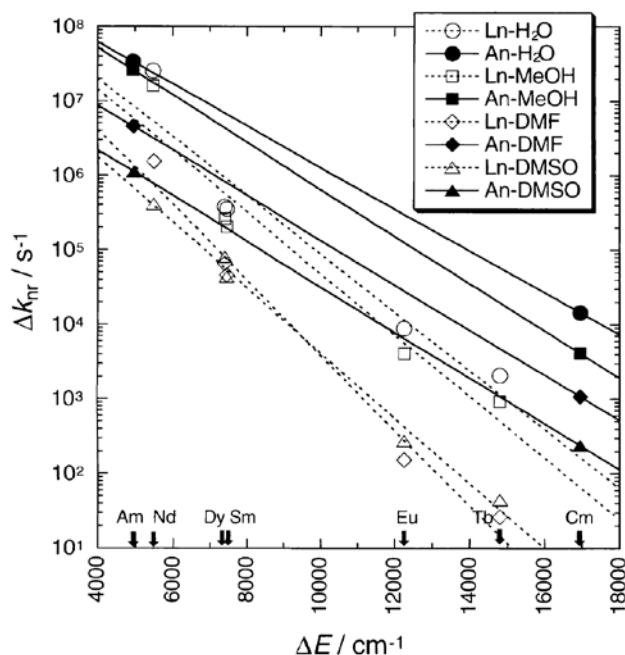


Fig. 3 Nonradiative decay rates, Δk_{nr} , of actinide(III) and lanthanide(III) ions estimated from the luminescence lifetimes measured in perprotonated and perdeuterated solvents as a function of energy gap ΔE : solid lines, actinide(III) ions; dotted line, lanthanide(III) ions.

3. 固液界面・分離化学研究への応用

TRLFSの応用として、従来、実験的に分析が困難な固液界面に存在するイオンの状態分析を試みた。まず、強酸性イオン交換樹脂と弱酸性イオン交換樹脂へのEu(III)の吸着状態を調べ、前者へはスルホン酸基へEu(III)が外圈的に吸着し、後者へはカルボキシル基へ内圈的に吸着していることを明確に示した (Fig. 4)⁹。これにより固液界面の研究への有用性が明らかとなり、共同研究者とともに環境化学に関連した微量化学種の存在状態解明が加速した。シリカやモンモリロナイトなどの粘土鉱物への吸着^{10,11}、さらにフルボ酸などの天然有機酸共存系での存在状態^{12,13}、さらには微生物表面への吸着挙動¹⁴⁻¹⁷も分子レベルで明らかにすることができた。

3価イオンの内部水和数決定法の最も有効な研究対象として、イオン交換や溶媒抽出を用いるア

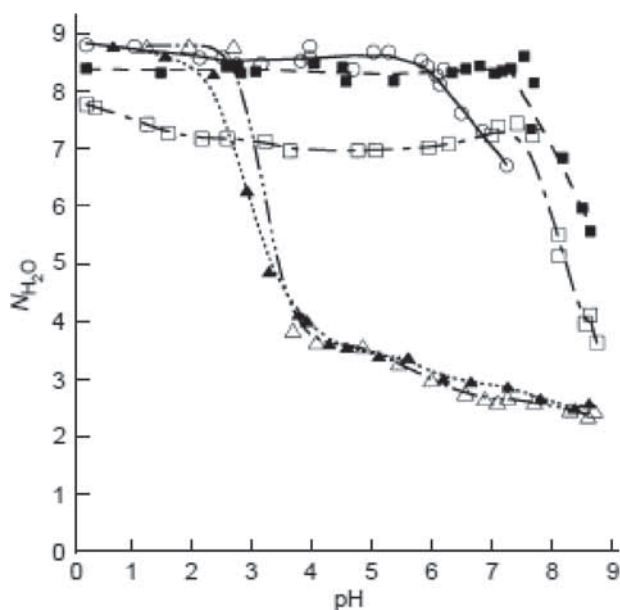


Fig. 4 pH dependence of N_{H_2O} in the SCR (\square), WCR (\triangle), PSS (\blacksquare), PAA (\blacktriangle) and WP (\circ) systems. Total concentration of Eu^{III} is 2×10^{-4} M. SCR and WCR systems: 4.0 g of AG 50WX8 and 10 g of Bio-Rex 70 suspended in 1 dm³ water, respectively; PSS and PAA systems: aqueous solutions of polystyrenesulfonic acid (8.3 g dm⁻³) and polyacrylic acid (3.0 g dm⁻³), respectively; WP system: Eu^{III} in water without added polyelectrolyte.

クチノイド(III)とランタノイド(III)の分離におけるイオンの配位環境の直接比較が挙げられる。化学挙動の似通った3価イオンの配位状態、分離機構を探る上でTRLFSは有力な手段である。イオン交換分離では、塩酸系陽イオン交換におけるCm(III)とEu(III)の溶液中および樹脂中の存在状態を調べ、溶液中の溶存状態の違いによって分離が実現することを明らかにした¹⁸。さらに、混合溶媒を用いた陽イオン・陰イオン交換分離における分離機構も解明した¹⁹⁻²¹。一方、溶媒抽出分離では、様々な抽出系で有機相および水相中のイオンの状態と分離挙動の相関を検討した²²⁻²⁵。とくに、Am(III)とランタノイド(III)の抽出に高い分離係数(約5000)を示すCyanex301の分離機構を理解するために、ドナー原子の異なる抽出剤、Cyanex301(S,S), Cyanex302(O,S)およびCyanex272(O,O) (Fig. 5)に抽出されたCm(III)とランタノイド(III)の N_{H_2O} を測定し、抽出化学種を推定した²²。Cyanex302とCyanex272ではCm(III)とランタノイド(III)に N_{H_2O} の差はなかったが、Cyanex301ではCm(III)で $HcMnL_4$ 、ランタノイド(III)で $LnLnL_3 \cdot 2H_2O$ or $HLnL_4 \cdot H_2O$ (Lは抽出剤)のような差がみられ、この N_{H_2O} の違いがアクチノイド(III)とランタノイド(III)の大きな分離係数に反映されていると推定した。

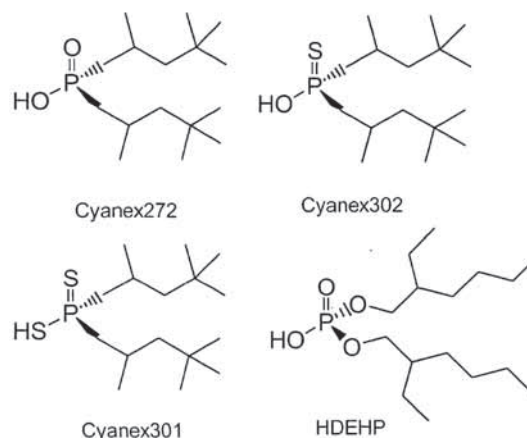


Fig. 5 The structure of three Cyanex acids and HDEHP.

4. 6 価ウランの状態分析と 4 価ウランの発光の発見

TRLFS を用いて、アクチノイド(III)と緩和過程が異なる U(VI) もその溶存状態に固有の発光寿命、発光スペクトルを持つことから化学種の状態分析に有用なことを明らかにした。大気雰囲気中で固相 $\text{UO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ と平衡にある溶液中の溶存種 UO_2^{2+} , $(\text{UO}_2)_2(\text{OH})_2^{2+}$, $(\text{UO}_2)_3(\text{OH})_5^+$ および UO_2CO_3 の発光寿命と発光スペクトルを同定し、これらのデータをもとに共存系の状態分析が可能なことを明らかにした^{26,27}。このようなアプローチは初めての試みであり、その後、国外で多くの研究を誘起した。また、U(VI) の未知試料を対象とする共同実験 (ラウンドロビンテスト) に参加することにより、筆者の技術は感度、精度ともに国際的にトップレベルの水準にあることが証明された²⁸。TRLFS を常温常圧の水溶液系から更なる適用範囲の拡張として、地下環境条件で想定されるような高温高压下での化学種分析を試みた。サファイア窓付き高温高压セルを組み合わせることにより、200°C、40 MPa までの条件で U(VI) の水熱溶液中での加水分解および錯形成反応の解析に成功した²⁹⁻³¹。一例として、Fig. 6 に pH 1.0-5.5 の U(VI) 溶液の発光寿命の逆数 $k_{\text{obs}} (=1/\tau_{\text{obs}})$ を温度の逆数 $1/T$ でアレニウスプロットした結果、複数の発光成分は 4 本の直線上に現れた³⁰。この結果を解釈するため、25-100°C で U(VI) 化学種の平衡計算を行った結果が、Fig. 7 である。この計算結果および各発光成分のスペクトルの形状とピーク波長の位置の比較から、4 本の直線は (I) UO_2^{2+} 、(II) $\text{UO}_2(\text{OH})^+$ 、(III) $(\text{UO}_2)_2(\text{OH})_2^{2+}$ 、および (IV) $(\text{UO}_2)_3(\text{OH})_5^+$ とそれぞれ同定された。

これまで、TRLFS によるアクチノイド研究の対象は、Cm(III)、Am(III)、U(VI) などの 3 価と 6 価のイオンに限られてきた。一方、4 価および 5 価イオンについては、ごく一部の錯体を除けば発光はないと考えられてきた。しかし、共同研究者とともに U(IV) の吸収スペクトルの解析から発光の可能性を探り、245 nm 光励起による $^1\text{S}_0$ 準位から 12 個のピークを持つ発光スペクトルを初めて測定した^{32,33}。Fig. 8 に U^{4+} のエネルギー準位とともに、吸収スペクトル、励起スペクトル

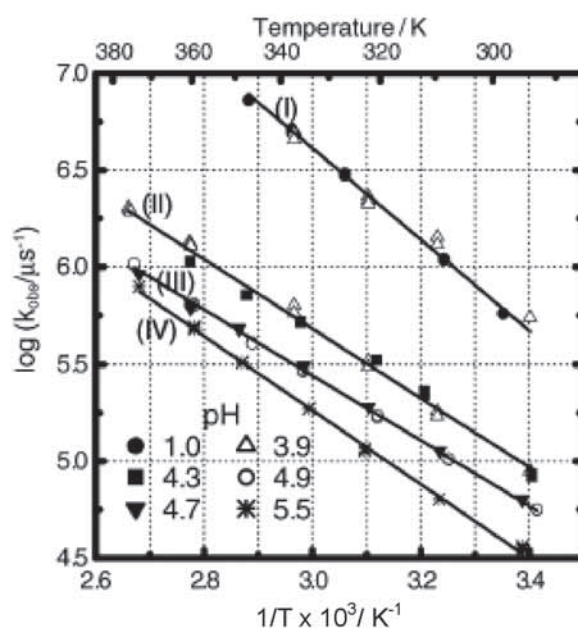


Fig. 6 Arrhenius plots of the luminescence decay constants of uranyl(VI) ion and its hydroxo-complexes, obtained in pH 1.0, 3.9, 4.3, 4.9, 4.7 and 5.5 solutions, with $[\text{U(VI)}]_{\text{tot}}=5.0 \times 10^{-5}$ M; at $I=0.5(\text{NaClO}_4)$ and $P=40$ MPa.

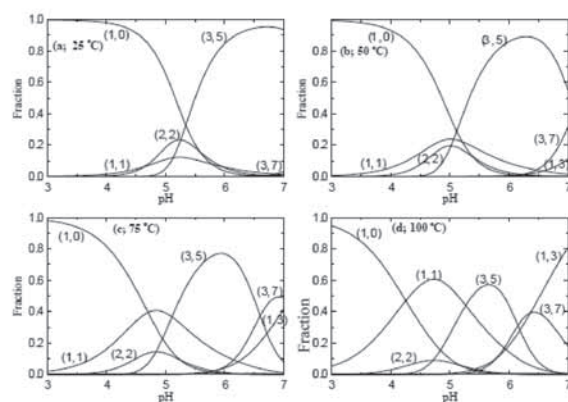


Fig. 7 Speciation diagrams of uranyl(VI) ion and its hydroxo complexes at different temperature; $[\text{U(VI)}]_{\text{tot}}=5.0 \times 10^{-5}$ M; $I=0.5(\text{NaClO}_4)$; (a) 25°C, (b) 50°C, (c) 75°C, (d) 100°C, (m,n) = $(\text{UO}_2)_m(\text{OH})_n^{(2m-n)+}$.

ル、および発光スペクトルの関係を示す。さらに、室温での τ_{obs} の測定では、 H_2O と D_2O 中ではともにパルス幅 (約 20 ns) に被ってしまったが、液体窒素温度 (77 K) での τ_{obs} は、 H_2O 中で 149 ns、 D_2O 中で 198 ns であり (Fig. 9)、U(IV) の τ_{obs} の温度依存性、水素同位体効果は、アクチ

ノイド(III)やランタノイド(III)の発光特性と異なることを明らかにした。

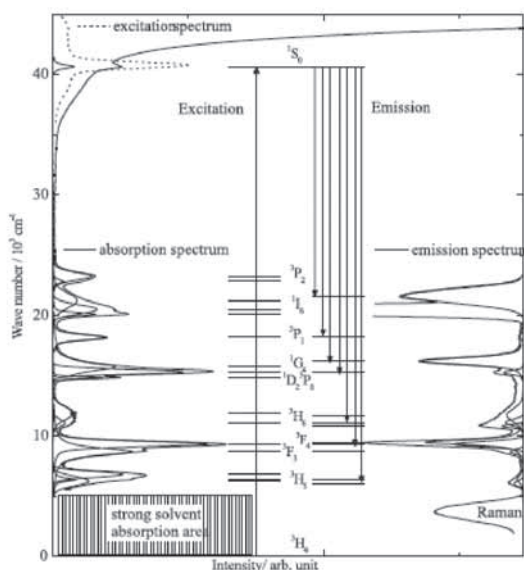


Fig. 8 Transition energies of the aqueous U^{4+} ion in perchlorate medium as determined from the resolved absorption and emission spectra.

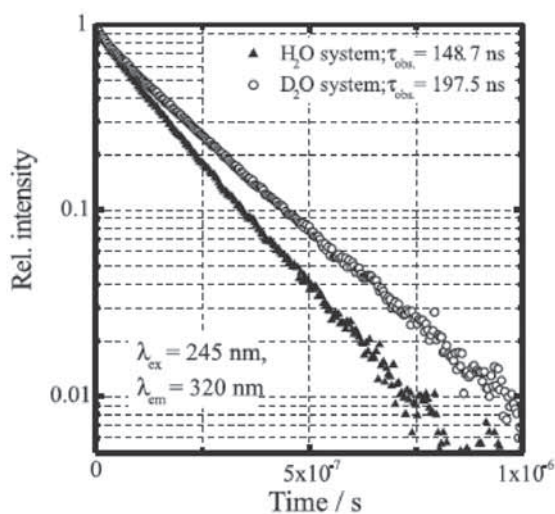


Fig. 9 Luminescence decay curves of 0.01 M U^{4+} in 1 M H(D)ClO₄ at 77 K, λ_{ex} =245 nm and λ_{em} =320 nm.

5. おわりに

筆者が本研究を開始した1990年当時、世界的にみてTRLFSによるアクチノイド研究、とくにCm(III)やAm(III)の研究は、ドイツ/ミュン

ヘン工科大学(後にカールスルーエ研究所)のProf. J.I. Kim、米国アルゴンヌ国立研究所のDr. J.V. Beitzなど、限られたところで主に発光スペクトルによる研究が行われていただけであった。また、U(VI)についても高感度分析の観点からの研究が多く、発光スペクトルを解析して化学種の溶存状態を解明するための研究はほとんどされていなかった。このため、筆者らが比較的早い時期に報告した研究成果^{1,2,26}は、インパクトが大きくこれまでに数多く引用されてきた。これらの研究は、ドイツ/カールスルーエ研究所におけるCm(III)の発光分光、ドイツ/ヘルムホルツセンタードレスデン-ロッゼンドルフ(HZDR)におけるU(VI)の発光分光の研究に影響を与え、諸外国での研究のベースともなっている技術と評価方法である。

また、アクチノイド研究だけでなくランタノイド研究についても、従来はほとんどがEu(III)とTb(III)の研究に限られていたが、水和・溶媒和研究を他の3価ランタノイドイオンのNd(III)、Sm(III)、Dy(III)にも拡張したことで、3価アクチノイドとランタノイドの研究対象が拡がり、同一の研究手法によるアクチノイドとランタノイドの比較研究ができるようになったことは、配位化学、分離化学などの分野で大きな進歩となった。

TRLFSの特長の一つとして、測定試料は溶液、固体、固液・液液界面、さらには極低温から高温高圧状態まであらゆる状態に適用可能であり、とくに分析手法の限られる固液界面の研究には欠かすことができない。このため、1990年代後半から現在もなお環境条件を想定した鉱物表面など、様々な固液界面での吸着、吸蔵などの現象解明に適用されてきている。

謝辞

本研究の成果は、多くの方々の支援と共同研究者の尽力により得られたものであり、ここに深く感謝申し上げます。(敬称略)加藤義春、吉田善行、G. Meinrath、尾崎卓郎、永石隆二、有阪 真、青柳 登、渡邊雅之(JAERI/JAEA)。G.R. Choppin (Florida State Univ.)、高橋嘉夫(広島大)、桐島 陽(東北大)、S. Lis (Adam

Mickiewicz Univ.)、G. Tian (Lawrence Berkley National Lab.)、P. Zhang (精華大)、D.Y. Chung (KAERI)、佐々木隆之 (京都大)、斉藤拓巳 (東京大)、石田圭輔 (NUMO)。

参考文献

- (1) T. Kimura and G.R. Choppin, *J. Alloys Compd.* **213/214**, 313 (1994).
- (2) T. Kimura, G.R. Choppin, Y. Kato, and Z. Yoshida, *Radiochim. Acta* **72**, 61 (1996).
- (3) T. Kimura and Y. Kato, *J. Alloys Compd.* **225**, 284 (1995).
- (4) T. Kimura and Y. Kato, *J. Alloys Compd.* **271-273**, 867 (1998).
- (5) T. Kimura and Y. Kato, *J. Alloys Compd.* **275-277**, 806 (1998).
- (6) T. Kimura and Y. Kato, *J. Alloys Compd.* **278**, 92 (1998).
- (7) T. Kimura, R. Nagaishi, Y. Kato, and Z. Yoshida, *Radiochim. Acta* **89**, 125 (2001).
- (8) T. Kimura, R. Nagaishi, Y. Kato, and Z. Yoshida, *J. Alloys Compd.*, **323-324**, 164 (2001).
- (9) Y. Takahashi, T. Kimura, Y. Kato, Y. Minai, and T. Tominaga, *Chem. Commun.*, 223 (1997).
- (10) Y. Takahashi, T. Kimura, Y. Kato, Y. Minai, and T. Tominaga, *Radiochim. Acta* **82**, 227 (1998).
- (11) K. Ishida, T. Saito, N. Aoyagi, T. Kimura, R. Nagaishi, S. Nagasaki, and S. Tanaka, *J. Colloid Interface Sci.* **374**, 258 (2012).
- (12) Y. Takahashi, T. Kimura, Y. Kato, and Y. Minai, *Environ. Sci. Technol.* **33**, 4016 (1999).
- (13) Y. Takahashi, T. Kimura, and Y. Minai, *Geochim. Cosmochim. Acta* **66**, 1 (2002).
- (14) T. Ozaki, M. Arisaka, T. Kimura, A.J. Francis, and Z. Yoshida, *Anal. Bioanal. Chem.* **374**, 1101 (2002).
- (15) T. Ozaki, T. Kimura, T. Ohnuki, Z. Yoshida, and A.J. Francis, *Environ. Toxicol. Chem.* **22**, 2800 (2003).
- (16) T. Ozaki, J.B. Gillow, T. Kimura, T. Ohnuki, Z. Yoshida, and A.J. Francis, *Radiochim. Acta* **92**, 741 (2004).
- (17) T. Ozaki, T. Kimura, T. Ohnuki, and A.J. Francis, *Radiochim. Acta* **94**, 715 (2006).
- (18) T. Kimura, Y. Kato, H. Takeishi, and G.R. Choppin, *J. Alloys Compd.* **271-273**, 719 (1998).
- (19) M. Arisaka, T. Kimura, H. Suganuma, and Z. Yoshida, *Radiochim. Acta* **89**, 593 (2001).
- (20) M. Arisaka, T. Kimura, H. Suganuma, and Z. Yoshida, *Radiochim. Acta* **90**, 193 (2002).
- (21) M. Arisaka, T. Kimura, H. Suganuma, and Z. Yoshida, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **255**, 385 (2003).
- (22) G. Tian, T. Kimura, Z. Yoshida, Y. Zhu, and L. Rao, *Radiochim. Acta* **92**, 495 (2004).
- (23) P. Zhang and T. Kimura, *Solvent Extr. Ion Exch.* **24**, 149 (2006).
- (24) Y. Sasaki, P. Rapold, M. Arisaka, M. Hirata, T. Kimura, C. Hill, and G. Cote, *Solvent Extr. Ion Exch.* **25**, 187 (2007).
- (25) M. Arisaka and T. Kimura, *Solvent Extr. Ion Exch.* **29**, 72 (2011).
- (26) Y. Kato, G. Meinrath, T. Kimura, and Z. Yoshida, *Radiochim. Acta* **64**, 107 (1994).
- (27) G. Meinrath, Y. Kato, T. Kimura, and Z. Yoshida, *Radiochim. Acta* **82**, 115 (1998).
- (28) I. Billard, E. Ansoborlo, K. Apperson, S. Arpigny, M.E. Azehna, D. Birch, P. Bros, H.D. Burrows, G.R. Choppin, L. Couston, V. Dubois, T. Fanghanel, G. Geipel, S. Hubert, J.I. Kim, T. Kimura, R. Klenze, A. Kronenberg, M. Kumke, G. Lagarde, G. Lamarque, S. Lis, C. Madic, G. Meinrath, C. Moulin, R. Nagaishi, D. Parker, G. Plancque, F. Sherbaum, E. Simoni, S. Sinkov, and C. Viallesoubranne, *Appl. Spectrosc.* **57**, 1027 (2003).
- (29) T. Kimura, R. Nagaishi, T. Ozaki, M. Arisaka, and Z. Yoshida, *J. Nucl. Sci. Technol. Suppl.* **3**, 233 (2002).

- (30) A. Kirishima, T. Kimura, O. Tochiyama, and Z. Yoshida, *J. Alloys Compd.* **374**, 277 (2004).
- (31) A. Kirishima, T. Kimura, O. Tochiyama, and Z. Yoshida, *Radiochim. Acta* **92**, 889 (2004).
- (32) A. Kirishima, T. Kimura, O. Tochiyama, and Z. Yoshida, *Chem. Commun.* 910 (2003).
- (33) A. Kirishima, T. Kimura, R. Nagaishi, and O. Tochiyama, *Radiochim. Acta* **92**, 705 (2004).

◆◆◆ ニュース ◆◆◆

アジア太平洋地域放射化学国際会議 (APSORC13) 報告について

APSORC13 実行委員会編

はじめに

これまでに、熊本市、福岡市、北京、ナパ（米国カリフォルニア州）で開催されてきたアジア太平洋地域放射化学国際会議（Asia-Pacific Symposium on Radiochemistry: APSORC）が久しぶりに日本（金沢市；22-27 September 2013）で開催された。今回5回目を開催するにあたり、日本放射化学会主導で編成した APSORC13 実行委員会と開催地である金沢市の関係者で構成した金沢シンポジウム委員会を立ち上げ、共同で本シンポジウムを企画運営した。実行委員長も（独）日本原子力研究開発機構・先端基礎研究センターの永目諭一郎と金沢大学環日本海域環境研究センター・低レベル放射能実験施設の山本政儀が共同で勤めた。日本で開催するので、日本放射化学会年会・放射化学討論会を兼ねた学会となった。特に、福島第一原子力発電所事故による放射能汚染は国際的にも注目されており、この学会での重要な話題の一つとして取り上げた。放射化学者のみならず、関連分野の研究者からの関心は高く発表申込数は予想を超えて343件（口頭発表108件、ポスター発表235件、海外から61件+83件を含む）となった。海外からは、アメリカ、中国、韓国をはじめ、ロシア、ヨーロッパからも多くの参加を戴き、計25ヶ国の参加があった。今回は、1. Fukushima issues（発表数80）、2. Education in nuclear and radiochemistry（7）、3. Nuclear forensics（4）、4. Nuclear energy chemistry（17）、5. Nuclear chemistry（52）、6. Actinide chemistry（22）、7. Environmental radioactivity（63）、8. Radiopharmaceutical chemistry & Nuclear medicine（22）、9. Nuclear probes for materials science（20）、10. Activation analysis（24）、11. Application of nuclear and radiochemical techniques（26）の11の討論課題セッションを設けた。学会の最

初に、Prof. Raymond Dybczyński（Institute of Nuclear chemistry and Technology, Warszawa, Poland）に対して、中性子放射化分析への貢献により、ヘベシー賞（Hevesy Medal Award 2013: HMA-13）が授与され、その受賞記念講演も行われた。以下に、各セッションの発表内容の概要を報告する。尚、発表内容の詳細については、*J. Radioanal. Nucl. Chem.* 誌でプロシーディングが発行される予定である。

1. Fukushima issues（金沢大・山本政儀）

2011年3月11日、東北地方太平洋沖でM 9.0の巨大地震とそれに伴う津波が発生し、2万人を超える住民が死亡または行方不明になった（東日本大震災）。さらに、東京電力福島第一原子力発電所の事故で十数万人の周辺住民が避難を余儀なくされた。本シンポジウムでは、この未曾有の巨大な複合災害となった福島第一原発事故をトピックスとして福島セッションを設け、純粋な学問的視点からこれまでに得られてきた研究成果や今後の課題を討論することにした。80件の演題（Plenary Talk: 2、Invited Talk: 5、一般講演: 14、ポスター: 59）が寄せられた。最初の山本（金沢大）の基調講演では、事故の概要と環境に放出された主な放射性核種 ^{131}I 、 ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の拡散・汚染状況や放出量、さらにデータの少ない ^{90}Sr および超ウラン元素核種のレベルや同位体比が報告された。特にレベルが低く測定が困難であった超ウラン元素核種については、道路脇のダスト等を含む高汚染試料（黒い物質）に着目し、Pu同位体のみならず ^{241}Am や 242 、 243 、 ^{244}Cm 同位体を測定し、原子炉コア内のそれら核種のインベントリとの比較等から、超ウラン元素は大きくフラクショネーションすること無く微粉末として放出された可能性が高いことを示した。次に、I. G. McKinley（MCM Consultung、スイ

ス)は、福島事故を通して、放射能汚染処理は勿論であるが、直面した汚染などの情報伝達の重要性、放射化学者の一般国民への放射能教育の普及活動を力説した。招待講演では、初期に大気中に放出された放射性IやCsについて大気輸送拡散モデルを用いて、特に ^{131}I 濃度レベル(ガス状および粒子状)の再構築研究の現状と問題点(鶴田:東大)、陸域環境に降下した放射性IやCsの移行挙動について、土壌、河川(粒子-溶存態)の測定、更にXAFSを駆使した存在状態研究の一端(高橋:広島大)、海洋に放出された放射性Csの膨大なデータを用いての海洋汚染の現状とモデル計算による将来予測研究(青山:気象研)が紹介された。更に、核燃料の高温によるメルトダウンと水との相互反応、放出核種(B.Grambow: University of Nantes、フランス)、事故を起こした原子炉の廃炉に向けての研究(海水の放射線分解、廃棄物の放射能測定、燃料の熱力学的検討など(湊:原子力開発機構)も紹介された。一般講演およびポスターセッションでは、以下の発表がなされた。1)大気中に放出された放射性核種の中で重要な放射性Iについて、被曝の観点から事故初期の時空間的 ^{131}I 濃度分布を評価できるデータが非常に少なく、半減期の長い同位体 ^{129}I による ^{131}I 濃度の再構築が強く求められた。このような社会的要望もあって、土壌中の ^{129}I 蓄積量分布や放射性Csとの比較での深部移行挙動(4件)、また海洋での濃度分布、海洋水塊の動きのトレーサーとしての利用(4件)も視点に入れた質の高い研究が発表された。また、2)内部被曝との関連で、土壌から植物、果実への移行あるいは転流、それらのメカニズムに関係する農作物の放射能汚染研究(13編)が数多く発表された。土壌中での放出放射性核種の存在状態に絡む幾つかの研究(7件)もあった。3)大気エアロゾルに関しては、主に放射性Cs濃度の時系列的な報告(8編)が数多くあったが、観測と初期ステージのシュミレーション、放射性核種を輸送するホスト粒子を特定するためのEDS、SEM、IP分析を駆使した興味ある存在状態解明研究(1件)があった。放射性Cs、I以外に、降下雨水の ^3H 測定、植物の $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、富士山での高度別 134 、 ^{137}Cs 降下量の研究(4件)もあった。4)海洋関係につい

ては、放射性Csの汚染状況、拡散シュミレーション、プランクトンや海産物の濃度レベル、沿岸海底土の汚染状況など9件の発表があった。さらに今回の事故で放出された放射性核種、特に ^{134}Cs あるいは ^{137}Cs をトレーサーとする土壌浸食、河川→沿岸→海洋への移行過程解明の研究(5件)も報告された。また、5) ^{90}Sr 分析法、TIMS、ICP-MS等を用いた微弱放射能測定能研究(6件)、6)除染や廃炉に向けて、事故初期に発生した高レベル汚染海水のRI除去、さらにプルシアンブルーやチタン酸化物等を用いた放射性セシウム除去技術開発、高温酸化・還元雰囲気でのUとZr反応などの基礎研究(12件)が発表された。このような研究が、国内のみに留まらず海外の研究者との共同研究に繋がり、さらにこの分野の研究が幅広く進展することが強く望まれる。

2. Education in nuclear and radiochemistry (金沢大・横山明彦)

核・放射化学教育のセッションでは、7件(口頭発表:5、ポスター発表:2)の発表があった。国別で見ると、USA、チェコ、中国、韓国、マレーシア、日本(2件)の内訳である。基調講演は、ワシントン州立大学のS. B. クラークが次世代の放射化学者の教育について論じ、特に原子力関連分野、核医学関連分野、放射性廃棄物の処理を含む環境関連分野における放射化学の重要性について強調し、将来への方向性の指針とすべきであるとした。招待講演では、チェコ工科大学J. Johnが、ヨーロッパのネットワーク教育システムである、CINCH-IIについて紹介した。CINCHとはCoordination of education and training in Nuclear Chemistry in Europeの略であり、その第2プロジェクトという位置づけのようだ。このようなヨーロッパの大学・大学院を有数の研究所と共に国際的に連結させていく試みはこの分野に限らず大きな流れとなっているが、その核化学版と思われる。その後W. Wuにより、中国の原子力政策を背景とした放射化学者を多数産み出す教育プロジェクトについての講演があり、次いで日本での教育ネットワークプロジェクトや福島事故が日本の放射線教育に及ぼした影響について、横山(金沢大)から紹介した。また韓国

の教育状況については Y. H. Chung から、マレーシアについては S. B. Sarmani からそれぞれ紹介があった。ヨーロッパの教育ネットワークにもまだ発展的・過渡的な部分もあるが日本に比べると非常に進んでおり、参考になる部分がたくさんある。特に核化学のネットワークがあることは羨ましい限りである。中国における放射化学者を多数育てるというプロジェクトは前回の APSORC でも紹介されたが、今回は日本の原子力発電所事故の影響によって原発建設のプロジェクトの見直し（教育方針も？）がされているとの話もあり、その影響の大きさに感慨深いものがあった。

3. Nuclear forensics (原子力機構・宮本ユタカ)

Nuclear forensics は「核鑑識」と日本語では訳され、10年ほど前からドイツや米国の研究所を中心に開発が進んでいる放射化学を用いた分析技術である。違法な取引から押収した核物質や核テロの現場に残された遺留物を科学的手法で分析し、核兵器の種類や核物質の出所（起源）を特定することが核鑑識分析の目的である。刑事事件現場に残された指紋の照合や車の塗装片の化学組成分析から犯人を探知する鑑識分析のようなものである。このセッションでは4件（口頭発表：3、ポスター発表：1）の発表があった。2件は米国の研究所や大学からの発表であった。ローレンスリバモア研究所の発表は、陽子誘起²³⁸U核分裂反応に関するもので、スタックホイル法で天然ウランを10-15MeVの加速陽子ビームで照射した後、核分裂生成物の化学分離とガンマ線スペクトロメトリーから反応断面積と詳細な核分裂収率曲線を測定し、得られた結果について述べていた。ネバダ大学の発表は、鉄鋼やコンクリートなどの遺留物から抽出クロマトカラム（SRレジ）を用いて放射性Srを化学分離する研究であった。マトリックス元素であるFeやCr、Al、Caなどの量が増加するとSrの分配係数にどのような影響を及ぼすかを調べた結果を報告していた。残りの2件の発表は、日本原子力研究開発機構の保障措置環境試料分析技術を開発しているグループからの発表であった。2件ともIAEA査察官が保障措置のために原子力関連施設から採取した環境試料（塵）に含まれる極微量Pu粒子の

同位体比を正確に分析するための技術についてであった。標準物質からPu酸化物粒子を作成し、Puが精製されてからの経過年数を²⁴¹Am/²⁴¹Pu比の測定によって正確に推定できる分析技術の発表と、Pu粒子一粒を表面電離型質量分析装置（TIMS）用のフィラメントに乗せて α 線スペクトロメトリーで放射能測定した後、質量分析により同位体比測定を行う詳細分析技術の発表であった。保障措置（Nuclear Safeguards）は、IAEAに未申告の核物質や原子力活動を探知することが目的であり、核鑑識とは目的も分析対象も全く異なるが、関連する発表件数がそれほど多くないので同じセッションで扱われることが多々ある。これらの分野における応用研究は社会の要請によって行われるものであり、自然や真理の探求から派生する学術的研究とかけ離れている。そのため、このような国際会議では異質なセッションのようにも思える。しかし、このセッションで発表された分析技術は、放射化学の創生期から行われているウランの核化学研究や、核物質の分離分析技術などによって得られてきた知見や技術を基盤として新たな局面に展開させたものである。核構造や超重元素合成など放射化学の根幹となる研究分野が更に発展することに加え、その研究成果が基盤となって学際的・社会的な放射化学研究分野にも展開することによって、放射化学の研究分野全体が発展し、学会が盛会となることを願う。

4. Nuclear energy chemistry

(原子力機構・渡邊雅之)

原子力化学セッションでは、17件（Invited Talk: 2、一般講演: 5、ポスター: 10（キャンセル3））の発表が行われた。はじめにChai（中国）による中国における原子力エネルギーに関わる化学を概観する内容の招待講演の後、Goswami（インド）によるインドにおける新しい試薬を用いたバックエンドプロセスに関する研究について招待講演が行われた。今回、この分野で近年、回山倒海の感が強いこの2国の原子力に関連する化学研究の現状の概観と展望では、多岐にわたるこの分野の研究データの数から、しっかりと人材を投入されていることをうかがわせるばかり

ではなく、この分野の化学を牽引すべくという気概まで伝わってくる内容であった。一般講演においては、希土類元素のカラムクロマトグラフィーによる分離やセシウムの電気化学カラムを使った吸脱着分離研究などの核種分離や欧州(フランス)で提案されたアクチノイド分離プロセス(GANEXプロセス)に関する発表が行われた。また、核種の反応性とスペシエーションに関して2件の発表が行われた。ポスターセッションでは、原子力バックエンドにおける化学工学的研究から高レベル廃液からの核種分離という要素分離技術に至るまで核燃料サイクルに欠かすことのできない放射化学的視点からの発表が行われた。その内訳は、計算科学1件、バイオ関連1件、化学工学1件、分析法2件、放射線分解2件、分離3件であった。

5. Nuclear chemistry (原子力機構・永目諭一郎)

核化学セッションでは52件(口頭発表:19、ポスター発表:33)の発表があり、大まかに分けると超重元素に関する話題31件、核廃棄物の処理処分・核燃料サイクル関連8件、ラジオアイソトープ製造に関して5件、その他核反応、核壊変、計測技術等8件となっていた。最近の超重元素の合成や化学的性質、核的性質に関する多くの研究成果が報告されたが、これはAPSORC13直前に岐阜県高山市で開催されたサテライトワークショップ8th Workshop on the Chemistry of the Heaviest Elements (CHE8)に多くの関連研究者が出席していたことにもよる。基調講演としてスイス・ベルン大学のA. TürlerからAdvances in the production and chemistry of the heaviest elementsと題して、超重元素合成の最前線やIUPACによる新元素命名に関する話題、最近の114番元素フレロビウム(Fl)に関する気相化学的研究の概要などが紹介された。また新しいアプローチとしてドイツ重イオン研究所(GSI)の反跳核分離装置SHIPとイオントラップ装置を組み合わせたSHIPTRAPを用いた102番元素ノーベリウム(Nb)や103番元素ローレンシウム(Lr)の原子質量測定なども紹介された。様々な技術的開発で超重元素の生成量も従来に比べて比較的多く得られるようになってきた。超重原子の

スペクトロスコピーなど今後はより詳細な物理・化学量の取得が期待される。招待講演もすべて超重元素に関する話題で、ロシア・フレロフ核反応研究所(FLNR)のS. Dmitrievが超重元素合成と関連研究のこれまでの到達点及び今後の展望と題して、FLNRでの活動を紹介した。これまでに118番元素の合成まで到達しているが、今後はより重い中性子過剰ビームの開発や放射性アクチノイドターゲット作成技術の改良の必要性などを指摘していた。加速器からのビーム強度の増強に関しては、現在FLNRではSuperheavy Element Factoryの建設が進んでいる。加速器を含めた超重元素研究の専用施設が完成すれば、さらなる重元素の合成や化学的・核的研究の展開が期待される。ドイツ・マインツ大学/GSIのCh. E. Düllmannは、GSIに設置したガス充填型反跳核分離装置TASCAを用いた超重元素合成とその化学的研究に関するレビューを行った。新元素119ならびに120番元素の合成実験は進行中であるが、まだ生成の確認はされていないようである。理研の羽場は、理研の仁科加速器センターに設置してあるガス充填型反跳核分離装置GARISを用いて行っている超重核種の壊変特性に関して報告した。特に超重元素の化学的性質に使用されている104番元素ラザホージウム(^{261}Rf)、105番元素ドブニウム(^{262}Db)及び106番元素シーボーギウム(^{265}Sg)の壊変特性に関して詳細なデータを取得しており、世界に誇れる成果と言える。これらの成果をもとに、現在はSgの気相化学的研究-Sg(CO)₆の合成とその化学挙動-が、マインツ大-GSI-原子力機構-理研-スイス・ベルン大学/ポールシェラー研究所(PSI)-中国近代物理学研究所(IMP)-米国ローレンスバークレー国立研究所(LBNL)などとの共同で理研GARISを用いて進められている。一般講演では、先のSg(CO)₆-初めての超重元素有機金属錯体の合成-に関する気相化学的挙動に関する報告、1原子/週で生成されるFlのガスクロマトグラフ挙動、115番元素の核分光研究などが報告された。これらは反跳核分離装置と化学分析装置ないしは核分光装置を組み合わせた実験である。また表面電離法を用いたLrの第一イオン化エネルギーの測定に向けた研究開発も、先の

SHIPTRAP 同様、超重元素研究の新たなアプローチとして注目される。他には核廃棄物の処理処分・核燃料サイクル関連のトピックスや核医学に使用される放射性核種の製造に関する話題、さらには半減期測定を含めた壊変に関する研究や核反応、放射線計測技術の開発などに関する話題が報告された。

6. Actinide chemistry (原子力機構・渡邊雅之)

アクチノイド化学セッションでは、22件 (Plenary Talk: 1, Invited Talk: 2, 一般講演: 4, ポスター: 15 (キャンセル3)) の発表が行われた。基調講演では、Denecke (英) がシンクロトロン放射光を利用したアクチノイドのスペシエーション研究について最新の研究成果を概観する内容の発表があった。招待講演では、Li (中国) がアクチノイド錯体の電子構造と発光スペクトルについて、相対論的量子化学計算に関する膨大な研究についての発表が行われ、計算科学の近年の進歩を感じさせる内容であった。続く北辻 (JAEA) は、フロー電極を利用してウラン、ネプツニウム、プルトニウムの電気化学について、これらを選択的に酸化還元するための酸化還元機構についての発表が行われた。一般講演では、熱力学解析によるウランの溶液化学や塩化ナトリウム-セシウム溶融塩内でのアメリカシウムの電気化学挙動、質量分析法によるウラン、プルトニウム、アメリカシウムの迅速分析法、非水溶媒下でのウラン4価の分光学的研究の発表が行われ、幅広い分野にわたり、アクチノイド化学の発展を期待させる内容であった。ポスターセッションでは、アクチノイドの処理処分に関わる化学を志向するものが多く、トレーサー実験の結果が多かった。全体として、アクチノイドの性質の本質に迫る研究の進歩を感じる内容であった。その他、ナノ科学1件、分析法1件、電気化学1件、放射線分解1件、バイオ関連1件、分離3件、分光3件、溶液化学6件の発表であった。Nuclear energy chemistry についても言えることではあるが、今年、国際会議として Global 2013 や Migration conference 2013 と時期的にも重なってしまったこともあり、関連する国外研究者の数は伸び悩んでしまったのが残念である。

7. Environmental radiochemistry

(金沢大・長尾誠也)

東京電力福島第一原子力発電所事故による放射性核種の放出、その後の二次的な環境中での動態に関する調査研究が進められ、環境放射能に関する研究分野に関心が集まっている。環境放射化学の口頭発表のセッションは、学会2日目の9月24日に開催され、16件 (Plenary Talk: 1, Invited Talk: 2, 一般講演: 13, ポスター: 47) の発表が行われた。長尾 (金沢大) の Plenary Talk では、放射性炭素をトレーサーに用い、河川—沿岸域における懸濁態有機物の移行動態について検討した研究成果が報告された。河川水系においては、流域の特性に応じて $\Delta^{14}\text{C}-\delta^{13}\text{C}$ と $\Delta^{14}\text{C}-\text{C}/\text{N}$ 比は流域毎に異なる領域にプロットされた。また、北海道の河川では、雪融けと降雨時に $\Delta^{14}\text{C}$ 値が低くなり、 $\delta^{13}\text{C}$ 値が高くなることが観測された。これらの結果は、懸濁態有機物が河川水位・流量の増加に伴い、見かけ上、古い有機物が浸食・底泥の再懸濁等により流出されることを示唆している。沿岸域堆積物においては、 $\Delta^{14}\text{C}-\delta^{13}\text{C}$ 値の関係をを用いることにより、陸起源有機物と海洋起源有機物の混合状況を河口域において検討できることが示された。Invited Talk では、環境中における放射性核種の移行動態を解明するために、微量な放射性核種の新しい測定手法が紹介された。Foerstendorf (Institute of Resources Ecology) からは、ギブサイト表面への5価のネプツニウムと6価のウランの吸着形態、セレンの鉄酸化物表面上への吸着形態を検討した結果が報告された。Kratz (Johannes Gutenberg-University) は、3つの波長レーザーを用いて原子を段階的に励起、イオン化し同位体を分析するレーザー共鳴イオン化質量分析法によるウラン、プルトニウム等の長寿命半減期放射性核種の極微量分析に関する測定条件を検討し、有効な測定手法であることが示された。一般講演では、GuoらはEu(III)とAm(III)の花崗岩への吸着におよぼす温度、フルボ酸、ならびに溶液のpHの影響について検討し、表面錯体モデルにより吸着挙動が解析可能であることを示した。Tuovinenらは、Talvivaara ニッケル鉱山でウラン等の放射性核種分離用の貯水湖において、ウラ

ン、 ^{226}Ra 、 ^{210}Pb 、 ^{210}Po に対する鉱物への取り込み等に関して調査し、ウランが主に鉄水和酸化物に吸着していることを明らかにした。Leeらは、放射性廃棄物地層処分の緩衝材として用いられる圧密ベントナイト中におけるセレンの淡水と塩水条件における拡散挙動を透過法により実験した結果を報告した。大貫らは、北海道幌延地域の地下水から分離した微生物を用い、微生物へのNd(III)とDy(III)の吸着挙動をバッチ法により実験し、溶液のpHに対してその K_d 値は増加することを明らかにした。Sachsらは、人間の上皮性腫瘍細胞に対するEu(III)の毒性を検討し、牛胎児血清存在下ではEuの溶存性が維持され、細胞への取り込みは低いことを報告した。環境中における放射性核種のモニタリングに関する研究分野からは、福島第一原発事故後の焼却灰中の放射性セシウムのモニタリング結果(岩鼻ら)、チェコ共和国における飲料水中のウランの健康影響問題とウランの分離法が紹介された(Krmela)。また、高エネルギー加速器が設置されている室内における放射性エアロゾルとして、 ^7Be 、 ^{32}P 、 ^{54}Mn が検出され、その発生機構が検討された(榎本ら)。さらに、環境中における物質動態に関するトレーサーとして放射性核種を活用する研究2件が紹介された。Gäggelerらは、山岳氷河の氷床コアに時間軸を導入するために ^{210}Pb 法を適用し、その有効性を報告した。坂口らは、日本海において海水中の ^{236}U 放射能濃度の鉛直分布を測定し、 ^{236}U 濃度は天然放射性核種の ^{238}U 濃度と平衡状態にないことから、海洋循環の新しいトレーサーとして ^{236}U を用いる可能性について言及した。最後に、環境試料中の微量な放射性核種の測定法に関する3件の発表が行われた。Parkらは、韓国原子力研究所が核物質保障措置の一環として実施しているTIMSを用いた環境試料のバルク分析について、その測定手法と精度について紹介した。Buらは、海水中の極微量プルトニウム分析法として、クロマトグラフによるプルトニウムとウラン分離後にICP-MSで計測する方法を検討した結果を報告した。一方、Milanović and Grahekは、樹脂にSrを吸着させ、その後、 ^{89}Sr と ^{90}Y のチェレンコフ光を利用して ^{89}Sr と ^{90}Y のチェレンコフ光を利用して ^{89}Sr と ^{90}Y を分析する簡易方法を紹介した。ポスター発表は

1日目の9月23日に17件、2日目に17件、3日目に14件と3日間にわたり、各ポスターの前では非常に活発な議論が行われていた。

8. Radiopharmaceutical chemistry

(金沢大・鷲山幸信)

放射性薬品化学のセッションでは、22件(Plenary Talk: 1、Invited Talk: 2、一般講演: 3、ポスター: 16)の発表があった。RIという観点で分類すると、診断利用(^{99}Mo 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{64}Cu 、 ^{123}I 、 ^{124}I 、 ^{97}Ru 、 $^{95\text{m}}\text{Tc}$)が最も多く、次いで治療用ベータ放射体(^{89}Sr 、 ^{90}Y 、 ^{125}I 、 ^{177}Lu 、 $^{117\text{m}}\text{Sn}$)、治療用アルファ放射体(^{211}At 、 ^{225}Ac)に関したもので、医学応用を主目的としたものである。一般的な放射化学関係者には、あまり馴染みのないRIが多いかも知れないが、いずれも核医学の王道に行くRI、今後の研究開発が期待されるRIばかりである。Plenary Talkでは、畑澤(大阪大)が核医学分野における放射性医薬品開発の概説と放射化学における意義について紹介した。従来、診断用と治療用のRIは別の核種を用いていたが、対象RIを同位体内から選択することにより、化学的挙動が完全に一致した放射性薬剤の開発が可能になる。ひいては診断(diagnosics) + 治療(therapeutics) = theranosticsな取扱いが出来るようになるのが新しい放射性薬剤の今後の形である、という話は大変共感できた。一方Invited TalkではWilbur(米国UW)が最近脚光を浴びている α 放射体について、特にハロゲンの ^{211}At の応用とそのため放射化学の重要性について述べ、より多くの放射化学者がアスタチンの化学研究に携わっていくことが、臨床応用を進めるためにも重要であると述べていた。Lahiri(インドSaha Institute)のInvited Talkでは271keVの γ 線を放出するEC壊変核種 ^{97}Ru の製造について $^{93}\text{Nb}(^7\text{Li}, 3n)$ 反応と $^{89}\text{Y}(^{12}\text{C}, p3n)$ 反応の違いを検討した。医学利用を目指したRIを作るには核反応断面積を正しく求めることが重要である。反応断面積に関する演題は一般演題やポスター発表にも見受けられ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を製造する反応や α 放射体の ^{211}At 、 ^{225}Ac の製造が興味の対象となっていた。これまでの放射性医薬品研究は、薬剤に対する生物学的特異性を付加することが中心で

あった。しかし、治療を考えた場合におけるアイソトープ治療の本質は放射線と物質との相互作用である。つまりいかに核特性の優れたRIを見だし、これを臨床に繋げていくのかといった視点が必要である。この意味では常にRIと向き合う放射化学者は核医学に携わってきた研究者とは違うアプローチが可能である。改めて医学応用における放射化学の重要性が再認識されており、今回のAPSORCでは新しい視点を持つ発表が数多く見られた。いずれ日本発の新規RIや薬剤が海外に向かって広がって行くことも夢ではないと感ずるセッションであった。

9. Nuclear probes for materials science

(金沢大・佐藤 渉)

Nuclear probes for materials science のセッションでは、不安定核や放射線をプローブとした物性研究に関する20件(Plenary Talk: 1、Invited Talk: 1、一般講演: 4、ポスター: 14)の発表が行われた。セッションの最初は、上野(理研)によるPlenary Talkで、理研のRIビームファクトリー(RIBF)の開発とこれを利用した最近の原子核物理研究の進展、さらには今後の研究計画と展望についての講演であった。BigRIPSによって生成・加速される高エネルギー粒子を利用する核物理研究に加え、停止・低速RIビームを利用した様々な核分光法による物性研究の可能性など、限られた時間の中で最大限の情報を提供してくれる内容であった。このセッションと関連して催された放射化学討論会の核プローブ分科会においては、より物性研究に特化した内容でRIBF施設が紹介され、参加者との質疑応答を通して活発な議論がなされた。世界に誇る加速器施設を利用した短寿命核の物性研究が展開できることを実感させる講演であった。Plenary Talkに続いて行われた口頭発表では、初めに佐藤(金沢大)がInvited Talkとして γ 線摂動角相関法による酸化亜鉛の物性研究に関する講演を行った。半導体としての機能をもつ酸化亜鉛のドナーとして期待される不純物インジウム位置での特異な局所構造や伝導電子散乱現象を原子レベルで議論する内容であった。さらに4件の一般講演が続いた。このうち3件がメスバウアー分光関連の

研究で、1)ヘマタイトやマグネタイトといった鉄鉱石の還元法に関する研究、2)プルシアンブルーによるセシウムの吸着に関する研究、また3)鉄錯体中における ^{57}Fe のメスバウアーパラメータの理論計算に関する研究であった。この他、ミュオンの炭酸ガスや窒素酸化物への取り込みに関する報告もなされた。全14件のポスター発表を研究手法別に分類すると、メスバウアー分光法によるものが10件であり、口頭発表と同様に本分光法を利用する研究が大半を占めた。 ^{57}Fe プローブによる鉄の錯体や化合物に関する報告が多い中で、 ^{121}Sb をプローブとしたSb-Au結合をもつ化合物の物性研究も紹介された。また、短寿命RIビーム(^{57}Mn)を試料に導入して測定する新しい手法による研究発表もなされた。摂動角相関法による発表は3件あり、鉄中の ^{140}Ce 核位置での内部磁場、酸化亜鉛中の ^{111}Cd 核位置での電場勾配、ヨウ化銀中の ^{111}Ag 核のダイナミクスに関する研究報告であった。また、唯一の陽電子消滅寿命法による研究では、半導体試料の熱処理と陽電子寿命の相関を議論する内容であった。物質の局所場を高感度で探る手法として原子核プローブの分光法は不可欠である。今回のPlenary Talkで紹介された加速器施設等を利用することによって、今後さらに核プローブの応用の範囲が広がるものと期待される。

10. Activation analysis (首都大・海老原充)

放射化分析セッションでは、24件(invited Talk: 2、一般講演: 5、ポスター: 17)の発表があった。今回のAPSORCの開催と同一期日で放射化分析に関わる国際的な集会在ハンガリーのブダペストで開催された。この会合(6th International K0-users' workshop)はかなり早くから準備されていて、また、アナウンスも早かったこともあり、個人的に打診したAPSORC13に出席してもらえそうな国外の少なからぬ数の研究者がすでにハンガリーに行くことを決めていたという事情もあり、発表件数は予想をやや下回ることになったが、総件数で24件あり、充実した内容となった。ただ、惜しむらくは、放射化分析の口頭セッションは最終日に組まれたために、会場に集まった聴衆の数は多く

なかった。最終日は会場数も一つで、同日午後、同じ会場で closing ceremony が行われたこともあり、本来、放射化分析にさほど興味を持たない参加者にも聞いて頂ける機会となったかも知れず、その点ではこのプログラム編成は良かったのかも知れない。セッションは2件の招待講演で始まった。Plenary Talk が無かったのは寂しかったが、口頭発表の内容は、原子炉中性子を利用した分析（カナダ U of Dalhousie・Chatt、産総研・三浦、韓国原子力研究所・Moon、石巻専修大・福島、首都大・白井）のほか、J-PARC での核破砕中性子を用いた実験（原子力機構・藤）、J-PARC でのミュオンを用いた実験（阪大・二宮）と多岐に渡り、放射化分析の現状を知ると言う点では充実していたと感じた。ポスターセッションは9月24日と25日に分かれて開催され、それぞれ8件、9件の発表があった。発表の内容は口頭発表よりさらに多岐に渡り、元素（核種）の定量を行う手段としての放射化分析というだけの切り口でない、多くの興味ある発表が行われたのが、この分野の今後の展開という点で頼もしく感じた。会の運営や科学的意義はこうした多くのポスター発表者に支えられていることを改めて認識すると共に、これらの方々に感謝したい。

11. Application of nuclear and radiochemical techniques (金沢大・浜島靖典)

核・放射化学技術の応用セッションでは、26件（Invited Talk：3、一般講演：6、ポスター：17）の発表があった。国別では、日本11件、中

国3件、オーストラリア、メキシコ、フランス各2件、韓国、アメリカ、サウジアラビア、リビア、スウェーデン、タイ各1件であった。発表内容は多岐にわたり、分野別では、化学反応・挙動・分離・合成・定量法16件、測定器・測定技術・測定法・シミュレーション7件、メスバウアー2件、中性子ビーム利用1件などであった。招待講演3件は、Harada氏によるJ-PARCのANNRIによる中性子ビーム利用と成果、Zao氏による最近の中国での原子力分野におけるナノ物質、ナノテク利用と成果、浜島による尾小屋地下実験室での低レベル放射能測定の結果であった。

一般講演は、測定法、シミュレーション、抽出挙動、微量元素定量、反応機構、超重元素化学であった。後半の口頭発表は最終日の午後にもかかわらず、内外の多くの方々に参加していただいた。発表は研究分野がそれぞれ異なるためか、議論はその分野の特定の方が中心になり、全体での議論には至らない面もあったが、活発に行われた。

次回のAPSORCは、APSORC国際委員会によって4年後、韓国（開催場所として済州島が提案）で開催されます。本学会で交わされた福島原発事故に絡む放射能、被曝、エネルギー問題も含めて、放射化学の国際的な討論・議論もまた、人類が未来に向かってとるべき道筋への重要な契機となることを期待し、放射化学者の益々の活躍を願っております。最後に、学会開催にご尽力戴いた関係各位に深謝致します。



学会参加者記念写真

ニュース

環境放射能・放射線夏の学校 2013

2013年9月10(火)～12日(木) (熊取：京都大学原子炉実験所・み奈美亭)

環境放射能・放射線夏の学校は、大阪の熊取（京都大学原子炉実験所及びみ奈美亭）において3日間にわたり開催されました。参加者は学生8名、研究者・技術者26名と若者から熟練者まで幅広い層が集まりました。

<プログラム>

1時間の講演が6件行われました。1日目は、木野内忠稔先生（京都大学原子炉実験所）から「とある元素の植物生理学」、高橋千太郎先生（京都大学原子炉実験所）から「放射線生物影響のわかっていること・わかっていないこと」、今中哲二先生（京都大学原子炉実験所）から「飯館村の放射能汚染調査と初期被曝量評価」という3つの講演が行われ、2日目は山澤弘実先生（名古屋大学）から「放射性物質の 대기拡散と事故対応」の講演が行われました。また、三日目は、齊藤眞弘先生（元：京都大学原子炉実験所、現：ポニー工業）から「トリチウムの体内代謝と生物影響」、高橋知之先生（京都大学原子炉実験所）から「原子力施設の環境影響評価とその不確実性」という2つの講演が行われ、3日間で多岐にわたる興味深い講演が行われました。また、この夏の学校では、参加者全員が自分たちの研究内容等を20分程度発表することになっており、先生方や熟練の研究者からアドバイスやコメントが飛び交い和気あいあいとした雰囲気ながらも活発な議論が行われました。

<講演>

- ・京大炉 木野内忠稔先生「とある元素の植物生理学」

植物にとっての微量必須元素であり、欠乏した土壌では生育障害をおこす植物もあれば、過剰な土壌に於いては全く生育できない植物もあるという元素「B（ホウ素）」。そのホウ素の農業や環

境との関わりなどをホウ素欠乏状態で育てた植物とホウ素を与えた植物を比較した写真やホウ素が引き起こした事件（稲栽培に悪影響を及ぼした例）などの紹介を交えご説明頂きました。ホウ素を癌治療に用いる中性子捕捉療法（BNCT）の原理などの説明も頂き、微量元素の植物への影響から癌治療に関するお話まで幅広く興味深い講演でした。

- ・京大炉 高橋千太郎先生「放射線生物影響のわかっていること・わかっていないこと」

放射線に関する基礎知識などを聴講者参加型のクイズ形式で行って頂き、聴講した学生にとってハラハラ・ドキドキする講演でしたが、低線量のリスクについてのお話や最近の研究で分かってきている事などにも触れながら放射線の生物影響に関してわかりやすくご説明頂きました。福島事故などの原子力・放射線の事故に関して、ただ測定する・データを集めるだけでなく、被害を被った方の経済面や精神面などを考える大切さなどもお話しになり「ただ測るだけで終わって欲しくない」とこれから研究していく方々へのお言葉で講演を締めくくられました。

- ・京大炉 今中哲二先生「飯館村の放射能汚染調査と初期被曝量評価」

飯館村初期被曝プロジェクトチームによる汚染調査報告や初期被曝評価のうちのセシウム汚染詳細マップ・空間線量評価などをチェルノブイリの事故に関する情報を交えながら、ご紹介いただきました。チェルノブイリ事故後の「にんじん色の森」や「バイオロボット」の写真にショックを受け、新たに作製中の石棺の写真に目を見張り、先生のお話やスライドに釘付けの1時間でした。また、チェルノブイリの事故と福島との違いや飯館村の事故直後の調査における苦労した点、飯館村の調査報告だけでなくこれから初期被曝量を見積もるための聞き取り調査を開始

するお話などを聞くことができました。

・名古屋大 山澤弘実先生「放射性物質の大気拡散と事故対応」

大気拡散を予測する分野の進歩や SPEEDI による計算結果、福島事故時の対応などを詳しくご説明頂きました。最近では大気拡散の大まかな時間進展を事前に予測できるという事や、福島の事故時には事故影響の大きい3月12日、15日、20日について実態に近い計算が数時間から半日以上前になされていたというお話を聞き、私自身が大気拡散の専門ではないせいか「SPEEDIは役に立たない」の言葉で自身の認識が止まっていたため大変驚きました。質疑応答では、SPEEDIを扱う機関や人々はどうあるべきか、どのような知識や認識が求められるかなど、大変白熱した議論がなされました。

・元京大炉、現ポニー工業 齊藤眞弘先生「トリチウムの体内代謝と生物影響」

現在、主に考えられている自由水型トリチウムと、これからより考えられるべき有機結合型トリチウムについての説明があり、経口摂取でマウス中をトリチウムがどう動くのか、その吸収線量の評価について詳しくお話し頂きました。また、トリチウムを摂取した母から子への移行についても述べられました。浪江町の調査に行かれた時のお話もあり、「今もなお綺麗な花が咲く、素晴らしい町であったであろう浪江町を目の前にし、ここをどうにかしなければ。まだまだやるべき事がある。」と、先生のお人柄の暖かさと研究者魂を感じることができる講演でした。

・京大炉 高橋知之先生「原子力施設の環境影響評価とその不確実性」

原子炉施設や放射性廃棄物処分施設などの施設から放出される放射性核種の影響を評価について、考慮すべき項目やシナリオ設定・モデル作成・パラメータ選定を行う上でそれぞれに含まれる不確実性を十分検討すべき必要があることについて例を用いながらわかりやすくご説明頂きました。「平均値だけを見てはいけない。データのばらつきを見ることが大切。」と学生や若手研究者にデータのばらつきについて考える大切さを述べられ、同じ事象でも言葉を換えることにより受ける印象が違うと言う社会心理学のお話も

あり、多岐にわたった大変興味深い講演でした。

＜感想＞

2010年金沢での環境放射能・放射線夏の学校に初めて参加してから3回目の参加になります。今回は、実行委員会の事務局として初めて夏の学校を運営する事になりました。全てのことが初めてで右往左往しながらも少しずつ形になっていくのを見ることができプログラムが決定し素晴らしい先生方のお名前を確認したときには少々感激しました。至らぬ点が多い中、暖かな参加者の方々に支えて頂きながら何とか無事プログラムを終了することができホッとしています。という、事務局としての感想があります。また、参加者として感想を述べさせて頂きますと、素敵な先生方の講演が目白押しで始まる前からウキウキしていたのですが、期待を裏切らない先生方の講演に大変感激しました。この夏の学校では、講演だけでなく学生発表・研究紹介・業務紹介も行き、参加者全員が発表することになっています。研究室に入ったばかりの初々しい学生の発表から熟練研究者の興味深い発表まで、様々な発表がある中でお互いに刺激を与えあい・受けあっている様子がうかがえました。もちろん私も刺激を大に頂き、これからの研究の糧にしたいと思っています。

沢山のことを吸収でき、充実したこの夏の学校での反省点は大きく2つ。1点目は、大変興味深い講演が目白押しという素晴らしい機会だったので、もっと大勢の方に参加していただきたいかった。という、企画・宣伝方法に関する反省。そして、せっかく色々なところからお集まり頂き素敵な夏の学校を開催できたのに、講演や発表に夢中過ぎて夏の学校の様子を写真に納め忘れたことが2点目。この報告を読んでいただいている皆様に当日の様子を写真でお伝え出来なかった事、素晴らしい参加者との思い出を写真で残すことが出来なかった事は、この夏一番の反省事項となりました。

最後に、大変お忙しい中、この夏の学校での講演に時間を割いてくださった先生方、また、質疑応答で活発な議論を行い夏の学校を有意義なも

のにしてくださいました参加者の皆様に心より感謝しております。

アカデミックな議論を出来る場でもあり、かつ、発表者・演者と聴講者の距離の近い和気藹々とした場を提供する夏の学校。学会研究会等とは

ひと味違ったこの夏の学校がこれからも引き続き開催されていくことを願っています。

実行委員会事務局・藤原慶子（京大炉）

ニュース

Third International Conference on Application of RadiotraCers and Energetic Beams in Sciences (ARCEBS-14)

羽場宏光 (理化学研究所 仁科加速器研究センター)

2014年1月12日-18日、インドガンジス川の畔で、Third International Conference on Application of RadiotraCers and Energetic Beams in Sciences (ARCEBS-14) が開催されました (学会ウェブサイト: <http://indico.cern.ch/event/232642/>)。ARCEBS-14は、インドコルカタにある Saha Institute of Nuclear Physics の主催で4年毎に開催され、今回が第3回に当たります。本会議は、放射性トレーサーと量子ビーム利用における学際的研究を開拓することを目指し、物理、化学、生物学、医学、環境科学などの幅広い分野から多数の講演を集めています。講演要旨を調べたところ、発表件数は117件でした。各セッションの招待講演の題目を以下に示しました。

1. Indian Facilities

- Material research in India using synchrotron techniques
Milan K. Sanyal (Saha Institute of Nuclear Physics, India)
- Overview of slow positron beam based research in BARC
P. K. Pujari (Bhabha Atomic Research Center, India)
- Radiotracer applications in industry and environment in India
H. J. Pant (Bhabha Atomic Research Center, India)

2. Isotope Productions

- CERN-MEDICIS (MEDical Isotopes Collected from ISOLDE): A new facility
T. Stora (CERN, Switzerland)
- What is wise in the production of ^{99}Mo ?
B. Wolterbeek (University of Technology

Delft, Netherlands)

- New method for large scale production of medically applicable actinium-225 and radium-223
R. A. Aliev (Lomonosov Moscow State University, Russia)
- The heavy ion assisted production of neutron deficient radionuclides
M. Maiti (Indian Institute of Technology Roorkee, India)

3. Radiopharmaceuticals

- Radiolabeled biomolecules for specific imaging of the cancers of the breast, prostate and lung
M. L. Thakur (Laboratories of Radiopharmaceutical, Research and Molecular Imaging, USA)
- Standardization of quality control of radiometals and radiopharmaceuticals
W. A. P. Breeman (Department of Nuclear Medicine, Netherlands)
- Review on PET radiopharmaceuticals: From isotopes and molecules to medical applications
Y. Seimille (University Hospital of Geneva, Switzerland)
- Isotope production for medical application and related activities at the ARRONAX facility
F. Haddad (SUBATECH, EMN-IN2P3/CNRS-Université de Nantes, France)

4. Superheavy Elements

- Liquid-phase experiments with the heaviest elements
Y. Nagame (Advanced Science research Center, Japan Atomic Energy Agency, Japan)
- Applications of a gas-jet transport system at

the research reactor TRIGA Mainz

K. Eberhardt (Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Germany)

- Gas phase chemistry of superheavy elements
A. Yakushev (GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung GmbH, Germany)
- Present status and perspectives of superheavy element nuclear chemistry at RIKEN GARIS
Hiromitsu Haba (Nishina Center for Accelerator-Based Science, RIKEN, Japan)

5. Ion beam applications

- Recent developments on particle therapy at NIRS Japan
K. Noda (National Institute of Radiological Sciences, Japan)
- Recent highlights and trends in the use of radioactivity for solid state and biophysics
K. Johnston (CERN, Switzerland)

6. Miscellaneous applications

- Retention behavior of actinides and long lived fission products on smectite rich clays
B. S. Tomar (Bhabha Atomic Research Center, India)
- Radioactive particle tracking for flow visualization in multiphase flow reactors: Current status
S. Roy (Indian Institute of Technology, India)
- Facilities for research in nuclear physics in India
A. Roy (Variable Energy Cyclotron Centre, India)
- Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM): An overview of work carried out in India and Germany
A. Srivastava (Panjab University, India)

7. Upcoming facilities

- Radioactive ion beams development programme at VECC
A. Chakrabarti (Variable Energy Cyclotron Centre, India)
- Production of ^{163}Ho radioisotope via indirect nuclear reaction by proton and deuteron: Comparison of theoretical calculation and experimental data
Z. Szűcs (Institute for Nuclear Research of the H.A.S., Hungary)

ARCEBS-14 では、ヘルムホルツ研究所マインツの Julia Even 博士が、ARCEBS-14 Young Scientist Award を受賞し、「In-situ synthesis of volatile carbonyl complexes with short-lived nuclides」と題する受賞講演を行いました。Even 博士は、原子炉や加速器でオンライン製造した短寿命トレーサーを用いて様々な元素のカルボニル錯体の迅速合成法を系統的に調べ、最終的に超重元素 Sg (106 番元素) のカルボニル錯体の合成に成功しました。この Sg のトレーサー実験は、ヘルムホルツ研究所マインツ、ドイツ重イオン研究所、マインツ大学、理研、日本原子力研究開発機構、ベルン大学、ポールシェラー研究所、中国科学院近代物理研究所、カリフォルニア大学バークレー校、ローレンスバークレー国立研究所、埼玉大学からなる大規模な国際共同研究の下、理研 RI ビームファクトリーで行われたものです。Even 博士は、 $^{248}\text{Cm}(^{22}\text{Ne}, 5n)^{265}\text{Sg}$ 反応で合成した ^{265}Sg を気体充填型反跳核分離装置 GARIS で質量分離し、一酸化炭素とヘリウムの混合ガス中で $\text{Sg}(\text{CO})_6$ に錯形成後、その性質を低温ガスクロマトグラフ装置 COMPACT を用いて分析しました。

インドの1月は乾季で、日本の秋のような過ごしやすい気候でした。食事は、主に野菜、鶏肉、魚のカレー、エクスカーションはのんびりとガンジス川クルージングでした。次回の ARCEBS は、4年後の2018年に開催される予定です。



ARCEBS-14 参加者の集合写真。学会会場 The FFort Raichak にて。

ニュース

NAC-Vへの参加報告

高宮幸一（京都大学原子炉実験所）

2014年1月20日から24日までの5日間にわたって、インドのムンバイにてNAC-V(Fifth Symposium on Nuclear Analytical Chemistry)が開催された。筆者は2010年に開催されたARCEBS-10に続いて2回目のインドでの国際会議への参加となった。今回の日本からの参加者は著者を含めて6名（内2名は1月12～18日にコルカタで開催のARCEBS-14からの連続参加）であった。会場はBARC(Bhabha Atomic Research Centre)のTraining School Hostel内のホールがメイン会場であったが、3日目だけは同じムンバイ市内にあるK.C.Collegeに会場を移して開催された。開催時期は冬ではあるが、ムンバイの最高気温は摂氏25度程度と日本の初夏くらいの気温であった。BARCのホールには家庭用で使用されるサイズのエアコンが会場の三辺の壁にずらりと32台も設置されており、外国人向けのおもてなしであったのか、その全エアコンが強烈な冷気を会場に送り込んでいた。階段上に席が配置されたK.C.Collegeの近代的なホールも冷房がよく効いており、ジャケットを着ていてもなお寒く、筆者は3日目ですべて風邪をひいてしまった。

NAC-Vの概要やプログラムなどはシンポジウムのwebページ

(<https://sites.google.com/site/nacv2014/>)に掲載されているので、興味のある方はこちらを参照されたい。NACは第1回から第3回まではカナダで開催され、第4回から今回と同じインドのBARCにて開催されている。NACでは「原子核科学技術における分析化学」をメインテーマとし、「放射化分析」「 α 線、X線、 γ 線スペクトロメトリ」「イオンビームを用いた分析技術」「原子核技術における分析化学」「固体飛跡検出器を用いた手法」「放射性同位元素の製造と応用」「アクチナイドおよび微量元素の形態研究」「環境放射能」「核鑑識と核保安」「測定におけるQA/QC

と不確かさ」といった10分野のサブテーマを中心とした研究発表が行われている。

今回のNAC-Vにおいては、IAEAのD.B.MohammadとAECL(Canada)のB.Surによる2件のPlenary Talkで始まり、Invited Talkで26件（インド国内18件）、Invited Oralで10件（インド国内3件）、Oralで22件、ポスターで210件の発表があった。発表される分野は上述の通り日本放射化学会の放射化学討論会で扱われている分野と共通する部分が多いが、会議のタイトルにあるように分析を主たる目的とした研究発表が多かった。Oralのほとんどはインド国内の研究者によるもので、学生による発表も多かった。Oralカテゴリーは質問を含めた発表時間が10分という超短時間勝負であり、イントロダクションの途中で講演終了のベルが鳴らされることもあった。筆者はInvited Oralのカテゴリーでの発表であったが、こちらにも質問を含めて15分の短時間勝負であり、予想通りほとんど全部の口頭発表は大幅な時間超過で、質疑応答も一旦始まったら止まらない論争が続き、予定からどんどん遅れながら会議が進められていった。これはARCEBS-10に参加した際にも感じたことだが、インドの研究者の質疑応答では演者も質問者も自分の考えをなかなか曲げようとしない。したがって、会場から質問（というより異議）が投げかけられると、お互いの意見が平行線のまま座長が本気になって止めるまで議論（というよりお互いの主張）が続くこととなり、日本国内の学会での質疑応答でよく見られる「今後検討したいと思います（チャンチャン）」といった議論の軟着陸は決して起こらない。と、ここまで書いてきて既視感を覚えたのでよく考えてみると、筆者は前回のARCEBS-10の参加報告を「放射化学ニュース」第23号に書いていた。読み返してみると、まったく同じようなことを書いているのではないか。しかも同雑誌同号には石巻専修大学の福島美智子氏によるNAC-

IVへの参加報告も掲載されており、今回記事にしようと思っていた事柄は既に記事になっている(福島さんの記事で紹介されたムンバイ市内の鉄橋に掲げられている“Nonsmoking is bridge to good health”という耳の痛い警句は筆者も写真におさめた)。たった4年くらいの年月でインドが変わるわけがないのだから、わずか1週間の滞在で感じることもそれほど変わるはずがないのだ。

さて、同じようなことを繰り返し記事にしても仕方がないので、今後インドでの国際学会に参加される方にとって少しでも参考となるよう、なるべく前回書いていないインドでの学会の特徴について感じたことをいくつか述べようと思う。まずは開会式などの式典がやたらと充実していることを紹介したい。日本国内で開催される国際学会では5~10分程度の挨拶が3つ程度あり30分くらいで開会式典が終わるが、今回は熱烈な挨拶が5件あり、ピカピカにラッピングされた要旨集のお披露目と来賓への贈呈セレモニーなども間にあって、計1時間以上も式典が続いた。贈呈といえば、今回のInvited TalkとInvited Oralでは各発表の終了時に演者に対してA4大の発表記念盾が贈られた。前回のARCEBS-10では外国からの参加者全員にインドの神様のお面のような物が贈られ、日本に持ち帰るのに多少難儀したが、筆者は職場の居室の扉に飾っている。今回の記念盾は良い記念になるのだが、処遇をどうしようか悩んでいる。話題を式典の充実さに戻すが、3日目に会場をK.C.Collegeへ移した際にも、同校を紹介するビデオの上映、同校の要人による3件の熱烈なる挨拶に、要旨集の贈呈セレモニーとたいへん充実した開会式典で始まった。当日の午前セッションの最後の発表の予定であった筆者は、会場の隅でこっそりやりたかった最後の発表練習もできる雰囲気ではないため、凍えるような会場の寒さの中、ただひたすら早くセッションが始まるのを待っていた。開会式典は伸びに伸びて昼過ぎに終わり、筆者の発表時間は昼食後に回された。K.C.Collegeでは研究発表のプログラムが終わった後に、同校の生徒達によるインド舞踊、モダンダンス、歌が披露された。最初のインド舞踊はみなさんが思い浮かべるような典型的なもので、外国人参加者の多くが写真を撮ったり拍手

をしたりとたいへん盛り上がった。その後はモダンなダンスや歌、はたまた学会参加者からの飛び入りでの歌の披露と、だんだんと「のど自慢大会」の様相となり、今度はインド国内の参加者の間で大盛り上がりとなったが、筆者のような外国からの参加者には少々退屈な時間であった(しかも寒い)。その翌日にはプログラム終了後に会場を移してバンケットが催されたが、こちらは開会式典などとはうってかわってたいへんシンプルで、バンケットの開始時間になっても司会者が現れるでもなく挨拶もなく、ウェ이터が運んでくる一口料理をつまんでいるとメインのビュッフェの準備が整い、美味しいインド料理に舌鼓をうっていると終了のアナウンスがあり、それぞれに会場を後にしたのである。このようにインドでの学会の進め方というのは日本のそれとは異なる部分も多く、戸惑ってしまう場面も多々あった。しかし、日本人には「なんで?」と思われるイベントやサービスも、きっとインドにおける「おもてなし」の作法や表現のひとつであると筆者は思っている。それは、インドで出会った研究者の我々外国からの参加者への接し方にも表れていた。早口の独特の英語であるため会話をすべて理解することはできないが、我々のことをたいへん気にかけてくれ、こちらの意向を尊重し少しでもインドでの滞在が楽しく快適になるように適宜サポートをして頂いた。会期中のElephanta Islandへの短い観光にはBARCの学生のRakesh君がお供で付いて来てくれ、常に我々の一歩先を見ながら案内や客引きへの対応をしてくれた。土産物屋で物色しているとすぐに横にやって来て、何か買おうとすると(よほどつまらないものを買おうとしているように見えたのか)「本当に欲しいのか?無理やり買わされてるんじゃないか?いくらで買うつもりか?」と質問し、欲しいという売り手との値段の交渉までやってくれた。このようにしてRakesh君のおかげで短い観光はたいへん楽しい思い出となったのであるが、彼以外の参加者も本当におおらかな気持ちで我々を迎えてくれ、(会場の寒さ以外は)快適なインド滞在中であった。最後にBARCの研究者をはじめとするNAC-Vのスタッフに心より感謝を申し上げて筆を置こうと思う。

ニュース

第15回「環境放射能」研究会

佐藤志彦（筑波大学大学院数理物質科学研究科 日本学術振興会特別研究員（DC1））

第15回「環境放射能」研究会が平成26年3月6日から8日までの3日間、茨城県つくば市の高エネルギー加速器研究機構研究本館にて開催された（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）。福島第一原子力発電事故の発生まで100名前後であった研究会の参加者は年々増加し、本年は最終的に全国から185名が筑波山の麓に集結した。講演件数も本年は3件の依頼講演、20件の口頭発表、そして61件のポスター発表と、過去最多の計84件の発表があった。今回のトピックスは「環境保全と環境監視の枠組みにおける放射線の扱い」であり、長期的な監視を伴う環境影響評価やそのための基礎知見の共有に重点が置かれた。

初日は午後から始まり、最初のセッションでは大気、淡水生物、生活圏のそれぞれにおける福島第一原発事故由来の放射性核種のモニタリングと、生活再建への取り組みが報告された。エアダストや群馬県におけるワカサギ中に取り込まれた放射性セシウムの動態に関する結果が示され、また飯舘村の生活再建に向けての現状については、飯舘村から菅野氏が登壇し、除染の実証試験の興味深い取り組みが報告された。続く初日の依頼講演は放医研の鄭建氏による「Tracing the Fukushima nuclear accident released Pu and radiocesium isotopes in the environment: the role of isotope ratio analysis」という演題で、環境中の福島事故由来であるPuとCsの分析について、ICP-MSを用いた測定事例の紹介があった。多くの研究者にとって疑問となっている発生源について、4号機燃料プールからの放出可能性は無視できる程度であることを、Pu、Cs同位体比から検討していた。また質疑応答で2号機の寄与レベルは推定よりも遙に大きいのではないかと議

論が生まれ、それらを把握するためにも発生源の特定が必要であることが会場内の総意としてまとまったように見受けられた。その後のセッション2では、事故由来の難測定性核種のモニタリングや動態について報告があった。若手の発表は継続研究が行われている内容もあり、毎年更新されていく新情報は目を見張るものがあった。また経験豊かな研究者による測定法、解析法の報告は良い刺激になったと思われる。

2日目は今回のメインテーマにフォーカスした特別セッション『環境法改正に伴う環境中の放射線・放射性物質の新たな扱いについて』から始まった。演者に環境省から根本桂三氏、ならびに伊藤隆晃氏をお招きし、来年度から環境省が実施する、「環境常時監視について」と「環境影響評価法について」の2題についてそれぞれご講演いただいた。これは環境基本法と関係法令で除外されていた核燃料・放射性物質の取扱が、平成24年度通常国会で原子力基本法にゆだねるという条文が削除され、さらに環境中の放射性物質を環境大臣が常時監視を行うという条文が組み込まれたことに拠っている。根本氏からは南東北から北関東にかけての公共用水域放射性物質モニタリングの実施概要について、水質と底質土を対象核種 (^{131}I , ^{137}Cs , ^{134}Cs) に対し行い、さらにCsが高い試料は ^{90}Sr の定量を行うこと、そして地下水も5年周期で対象井戸を変えることにより全体で379地点をモニタリングすることが説明された。一方、伊藤氏からは環境影響評価行政におけるスコーピング、調査、予測、評価を受け環境保全措置を決定という影響評価の一連の流れが紹介された。一般的な常時監視は国の定めた環境基準を満たすことの確認だが、放射性物質の場合は明確な基準を設定せず、平時との変動を監視することが主であり、重金属や化学物質と取扱が異なる。環境基準がない特殊な状況で環境アセスメ

ントを行わなければならないことの辛労が2つの講演から垣間見られた。招待講演に続くセッション3では、常時監視の運用に応用できそうな、測定位置座標を記録して閲覧も出来るタブレット型測定器や、環境放射能のスペシャリストを養成するための人材育成の取り組みが紹介された。昼食を挟んで午後は3つのセッションが行われ、広範囲に及ぶ動態と、地域に限定するような局所的な存在状態といった複数の研究が報告された。特に原子炉から放出した際の化学形態に迫るテーマは、長期的な環境影響評価を行う上で、重要な基礎情報の1つとなることから、活発な議論がなされた。夕刻からは懇親会が金沢大学の横山明彦氏による研究会と福島復興を祈っての乾杯挨拶でスタートした。懇親会ではお酒も入り、会場以上に白熱した議論や共同研究の相談が行われたようであった。終盤には日本大学の山形武靖氏から若手の立場として、福島以外の環境放射能研究に取り組む重要性が語られ、気象研の五十嵐康人氏からは若手育成の一つとして、本研究会で行われていた若手セッション再開の提案があった。そして名古屋大学の緒方良至氏からは本研究会の成果をさらに発展させ発表する場として、今秋の放射化学討論会の案内があった。懇親会は21時頃には終わったが、宿舎に宿泊している参加者からはそれからも濃密な議論を日付が変わるくらいまで続けたようである。

3日目のセッション7は福島由来の放射性セシウムによる生物的影響について報告が行われた。海底土に生息していても大きな生物濃縮は起きないアオゴカイの性質や、樹幹からのCs吸着と内部で完結する汚染の循環などの最新結果が示された。会期中、延べ4回のポスターセッションが開催され、コーヒーを片手に納得がいくまでの議論や、研究者相互の情報交換が展開されていた。最終日の総合討論の後は、若手研究者の研究を評価し励ますために開設された研究会奨励賞の授賞式があり、本年は「2013年の福島沿岸域における海水および堆積物中に含まれる放射性セシウム濃度分布とその挙動」の福田美保氏（放医研）、「福島第一原発事故による被災牛の歯の放射性ストロンチウムの測定」の小荒井一真氏（東北大学院理学）、そして「北部北太平洋における表

層海水中 ^7Be 、 ^{10}Be 濃度分布」増田雄基氏（日大院総合基礎）の3名が受賞した。最後に日本放射化学会会長の海老原充氏より閉会挨拶があり、その中で人材育成については30年スケールの人材育成と、主催者である高エネ研放射線科学センターへの労いがあり、3日間の全日程を終えた。

総合討論ではサンプリング時の現地とのコミュニケーション、若手育成、難測定性核種の定量、そして再度このような原子力災害が発生した場合の対応に特に大きな注目が当たった。測定してみなければわからないこともあるので、難測定性核種の測定が必要でないか、という会場からの意見に対し、阪大の篠原厚氏からSr分析法の検討のワーキンググループを開設し、簡易方法・迅速方法の見直しを行っている旨の報告があり、原子力災害対策については、防災指針は国が作るが、具体的な対策と運用は都道府県が担当することになっていることが紹介された。一方で若手育成と地域とのコミュニケーションについては、今後も検討を重ねる必要を感じた。

福島事故から本研究会も3回目となり、研究としての内容も測定結果から、深く議論された内容になりつつあるように感じた。特に卒研や修士から始めている若手による福島の研究は、一つの区切りを迎えてきたようにも思えた。一方で、元来からの環境放射能の研究にスポットライトが当たったのも本研究会の良いところであり、関連学会を含め福島一色となる中、研究者同士が一堂に会する大切な刻となったことだろう。最後に研究会を企画、運営して下さった世話人、KEK放射線科学センター、そして補助係を引き受けて下さった学生の皆様に、心より御礼申し上げます。



図1 メイン会場の小林ホールと講演に聞入る参加者

情報プラザ (国際国内会議)

国内会議

第51回 アイソトープ・放射線 研究発表会

日時：2014年7月7日(月)～7月9日(水)
場所：東京大学弥生講堂

2014 日本放射化学年会・第58回放射化学討論会

日時：9月11日(木)～13日(土)
場所：名古屋大学

**平成26年度放射線安全取扱部会年次大会
(第55回放射線管理研修会)**

日時：10月30日(木)、31日(金)
場所：かでの2・7北海道立道民活動センター
(札幌)

国際会議

**RadChem2014 - 17th Radiochemical
Conference**

日時：11 May 2014 → 17 May 2014
場所：Marianske Lazne, Czech Republic

**4th INCC - International Nuclear Chemistry
Congress 2014**

日時：14 Sep 2014 → 19 Sep 2014
場所：Mareias, SP - Brazil

**ERA12 - An International Symposium on
Nuclear & Environmental
Radiochemical Analysis**

日時：17 Sep 2014 → 19 Sep 2014
場所：Bath, United Kingdom

**Gordon Research Conference on Nuclear
Chemistry**

日時：31 May 2015 → 05 Jun 2015
場所：New London, United States

**INST2014 - International Nuclear Science
and Technology Conference 2014**

日時：28 Aug 2014 → 30 Aug 2014
場所：Bangkok, Thailand

World Nuclear Fuel Cycle

日時：08 Apr 2014 → 10 Apr 2014
場所：San Francisco, CA, United States

**ARIS 2014 - 2nd Conference on Advances in
Radioactive Isotope Science**

日時：01 Jun 2014 → 06 Jun 2014
場所：Tokyo, Japan

**MTAA 14
the 14th International Conference on Modern
Trends in Activation Analysis**

日時：August 23-28, 2015
場所：Delft, The Netherlands

J-PARC Heavy-Ion Workshop

日時：17 Mar 2014 → 18 Mar 2014
場所：Tokai, Japan

Nuclear Fission and Structure of Exotic Nuclei

日時：18 Mar 2014 → 20 Mar 2014
場所：Tokai, Japan

Nuclear Structure 2014

日時：20 Jul 2014 → 25 Jul 2014
場所：Vancouver, Canada

4th International Workshop on Nuclear Dynamics in Heavy-Ion Reactions

日時：15 Aug 2014 → 19 Aug 2014
場所：Lanzhou, China

EXON-2014 – VII International Symposium on Exotic Nuclei

日時：08 Sep 2014 → 13 Sep 2014
場所：Kaliningrad, Russia

EXA 2014 – International Conference on Exotic Atoms and Related Topics

日時：15 Sep 2014 → 19 Sep 2014
場所：Vienna, Austria

Joint ICTP – IAEA Workshop on Nuclear Reaction Data for Nuclear Power Applications

日時：22 Sep 2014 → 26 Sep 2014
場所：ICTP - Trieste, Italy

ICANS XXI – 21st Meeting of the Collaboration on Advanced Neutron Sources

日時：29 Sep 2014 → 03 Oct 2014
場所：Mito, Ibaraki, Japan

学会だより

1. 日本放射化学会第62回理事会 [2012 学会 年度第4回理事会] 議事要録抜粋

日時：2013年6月15日（土）13:00 - 17:00

場所：東京工業大学 大岡山キャンパス原子炉研
1号館（大岡山北1号館）3階輪講室

出席者：[会長] 海老原、[副会長] 横山、[理事]
鈴木、百島、橋本、永井、渡邊、佐々木

欠席者：工藤、榎本、田上、高橋、野村、[監事]
村松

オブザーバー：大槻

報告

- 事務局報告として、前回議事録の確認、会員の
動向・会費納入状況、会計の報告がなされた。
会員関係では、未納者の督促状況について報
告があった。会計報告については、さらなる
確認が必要などところがある。総会までに準備
することとした。
- メール回議について：地球化学会による大型
公募予算申請の後援について。
- アカデミックスクエアとの契約について：
2012年度、2013年度の契約書の取り交わしに
関する報告、および2014年度見積書を回覧した。
- ネット委員会について：活動の内容について
報告があった。入会手続のフォーマットを一
部変更した。最近ジャンクメールが多いため、
一部処理に不手際が生じている。
- APSORC13 実行委員会について：準備状況に
ついて報告があった。講演申込は350件程度
で、実行委員会で現在プログラム編成に取り
かかっている。企画内容も検討中である。
- その他
 - 昨年度討論会の最終収支報告：余剰金を学会
に寄付された旨の報告があった。
 - 次回討論会の開催計画：来年の討論会開催場
所について関係各所と調整中である。名大で

の開催が可能か現在最終の詰めを行っている。

審議

1. 2013年学会賞：

学会賞の選考経緯および結果について選考委員
長より説明があった。奨励賞は応募が無かつ
た。選考委員会の本答申を受けて理事会とし
て承認した。その後、今後の選考プロセスに
ついて意見交換がなされた。選考委員に委嘱
状を出す。来年度より pdf のみの応募とする。
今年度は選考の期間が短かったとの意見が出
され、応募の締切りを早くするために、全体
のスケジュール（公募文審議の理事会開催日
程など）を見直すこととした。再応募に関す
る規定はこれまで通り特に定めない。学会事
務局は応募申請書類や選考委員会委員構成な
どの情報を、選考結果とともに保管する。
また、学会賞選考委員会をサポートする学会
賞事務局（応募書類のとりまとめなどを行う）
を理事の中から選出する。学会賞（奨励賞は
該当しない）応募メ切後、学会賞事務局担当
は学会事務局（庶務担当）と連携して、応募
者が再応募か否かを調査する。再応募の場合、
庶務担当理事から再応募である旨を、前回の
応募年度・タイトル・選考結果と共に選考委
員長に連絡する。委員長は必要に応じて追加
の応募書類を庶務担当理事に請求できる。応
募書類のうち、何を請求できるかについては
今後検討するが、最終的には会長の判断でよ
いのではないかという意見もあった。

2. 投稿規定の改定：

変更点に関する説明がなされ、基本的に了承
された。

3. 会誌放射化学について：

次号の論文執筆者推薦の協力依頼があった。
学会員でなくても良い。次号は APSORC のプ
ログラムを載せるため、8月末の出版を目指す。

論文2報、読み物数報は必要である。連絡を密にするため、放射化学の編集委員長に rijikai メールリストに加えることで了承された。次期編集長については、現編集長および理事により引き続き検討する。

4. 役員を選出方法に関する規定の改訂案：規定の改定の提案があり、一部語句修正の上、了承された。これまでの議論にあったように主な改定は、会長候補者の推薦方法の変更である。今後、パブリックコメントにはかり9月理事会後に施行予定である。パブコメのためのメールアドレスを開設する。
5. 学会存続に向けての検討と長期展望取りまとめWGの趣意書(案)：趣意書について提案があり、一部表記を横山理事の方で確認修正することで提案が了承された。WGのとりまとめ責任者は副会長名とする。初回WGはAPSORC(年会)開催にあわせて行う。当日は、発足趣旨の説明と共有、キックオフメンバーとして学会奨励賞を取った人たちに呼び掛け、パネルディスカッションなどの形で意見交換を行う。議論の継続が重要であるのでネット掲示板の活用について提案があった。
6. APSORCでの総会等の開催について：年会との位置づけが会員に十分周知されていないため、問い合わせがあったことが報告された。総会開催のアナウンスもできるだけ早くするなどが必要である。
7. 長期未納学会員の除名について：督促に反応がなかった正会員については除名手続きを進めることで了承された。学生会員で4年以上滞納の者について、理事会として退会処理をしたい。その旨、今回の特例措置を次回総会に提案し、了承を求める(次回総会定員としてはカウント)。3年以下の未納者は、今後検討する。
8. その他：会誌バックナンバーの販売価格について。ASが販売を対応する。欧文誌、和文誌ともに一冊1,500円とする提案が了承された。会計担当理事が外部とのメール窓口となり、ASに送付と料金収受を依頼する。受注発注メール経路、バックナンバー(一部AS、一部その他(阪大、理事)で保管中)、課税の要

否について確認する。

以上

2. 日本放射化学会第63回理事会 [2013学 年度第5回理事会] 議事要録抜粋

日時：2013年9月22日(土) 13:10 - 15:00

場所：金沢市文化ホール 第2会議室

出席者：[会長] 海老原、[副会長] 横山、[理事]
工藤、高橋、田上、渡邊、佐々木、橋本、
百島、榎本

欠席者：鈴木、野村、[監事] 村松

オブザーバー：なし

報告

1. 事務局報告として、前回議事録の確認、会員の動向・会費納入状況、会計の報告がなされた。会計2012年度賛助会員の請求は個人会員より半年遅れている。従って今のところ入金が少ない状態である。またバックナンバー冊子代は非課税であることが報告された(欧文誌、和文誌ともにASが販売を対応、一冊1,500円)。
2. メール回議について：報告案件なし。
3. ネット委員会について：活動内容が報告された。ジャンクメールへの対応が必要である。また放射化学冊子の送付先住所が古いままで、届かないことがある。ASの更新を頻繁に行う。
4. APSORC関係：会議直前の進行状況について報告があった。参加者335名(25カ国+日本)が登録料を支払済みである。あと30名程度が未納あるいは未登録の状態である。運営資金収支についても概ね予定通りで問題ない状態である。プロシーディングスのメ切延長した。

審議

1. 総会について：
総会配付資料について各説明担当より内容の紹介があり、一部修正の上了承された。／横山副会長より会則等の改定の報告内容について確認された。／来年度討論会の開催は名古屋大学工学部。9月11日～13日の予定である。

／学会年度（会計年度）の変更（理事会の任期変更を含む）および会費の改定について会長から提起された。

2. 学会存続に向けての検討と長期展望取りまとめWGについて：資料に基づいて得られた意見について紹介があった。パネラーについて4名の推薦があり、これらの方に意見を行っただくことで了承された（メール審議済み）。こうした活動や意見をとりまとめて、「放射化学」に横山副会長から投稿する。なお総会で、学会立ち上げの経緯は会長から説明する。本当に学会が必要なのかを議論したい、というのが根底にある。シンポジウムの企画タイトル－放射化学の将来を考える若手シンポジウム、若手の会火曜で参加呼びかける。

3. 学会や研究集会等の共催への対応に関する覚書：以下の覚書について承認された。

経緯：共催依頼があった場合、その諾否に関する明確な基準が現状では無い。そのため、ある企画に対して理事会事務局がその内容等を判断し、必要に応じて理事会で審議している。学会の昨今の厳しい経済事情を考慮するに、特に金銭的なサポートには慎重にならざるを得ず、その判断のよりどころ検討する必要があると思われる。

対応：①支出を伴わない共催は、学会・研究会問わず、内容を学会長および事務局レベルで迅速に判断し、できるだけ諾とする。②国内で開催する国際会議などでは、参加費が収入となる以前にスタートアップ費としてのサポートすることがある。そのため、特に放射化学会（員）が主体的に関わる国際会議にはできる限り金銭的補助を理事会年度当初において予算化する。年度途中で緊急性が高い場合は理事会メール審議において検討することもできる。なお、この補助金は学会終了後、当該学会から返還されることもある。③他の補助金支出は、特別の事情がある場合を除いて、原則廃止とする。

4. 和文誌編集委員長ほかについて：交代について検討している旨の報告があり了承された。JSTAGEに和文誌も載せる方向で検討している。雑誌に対する意見として、400人の学会で

ジャーナルとして継続的に存続できるのかが問題ではあるが、一方で学生などの急ぎの投稿にとっては貴重な窓口とも言える、といった意見や、それなら英文和文を統合することも視野に入れるべきとの意見も出された。

5. その他：

予算縮小の考え方について自由討論がなされた。財政がひっ迫していることから、要旨集の補助金に上限額（例50万）を設けることも視野に入れる。なお、来年度から要旨集補助という項目を削除し、討論会補助とする。関連して、研究会等の補助も採否を見直す。／ジャーナルが重要なら今後費用UPも考えるべきである。また、要旨集を後日送るシステムは維持すべきだが、有償化して財政確保も対策としてあり得る。

以上

3. 第15回日本放射化学会総会 報告概要

日時：2013年9月25日（土）13:20 - 14:20

場所：金沢市文化ホール

会則の規定により会長が議長となり、議事が進められた。

1. 会長報告

海老原会長より概況報告があった。主な報告事項は以下の通り。

- a) 現状：2013学会年度当初会員数（2013年8月31日）。個人会員総数は450名（2012年10月1日時点で469名）。内訳は名誉会員14名、永年会員11名、正会員325名、学生会員94名、外国人特別会員6名、賛助会員24社（25口）。
- b) 財政状況：切迫した状況を打開するため、英文誌の電子ジャーナル化に伴う印刷費や郵送費等の経費節減、選挙を隔年にしたことに伴う経費節減が行われている。理事会にて継続して検討を進めている。
- c) 組織：理事会、JNRS編集委員会、和文誌「放射化学」編集委員会、インターネット管理運営委員会の陣容の紹介。
- d) 理事会での主な議事内容：①定足数問題の解

消、長期未納者対策－5年以上会費未納の正会員23名について、特例措置を設け、督促の上、除名16名（会則第12条）、4年以上会費未納の学生会員21名（会則第6条2項施行以前に入会）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ので、今後退会処理としたい。②学会賞選考委員会体制の見直し－学会賞＋奨励賞委員会の統合、学会賞事務局（理事1名）＋庶務担当理事とし、事務作業の省力化を進める。③編集委/ジャーナル規定等の改正－英文学会誌（“JNRS誌”）冊子体中止、web公開。速報追加。年会日本語予稿集のsupplementは中止。国際会議proceedingsを出すことは可能。放射化学ニュースから、和文誌「放射化学」への移行。13年3月発刊。会誌の充実策として、原著論文、ニュース記事、レビュー、速報、研究室紹介など掲載する。電子ファイルをHPで公開。冊子体の郵送は継続。④懸案事項、その他：会の存続・活性化に向けて、学会存続に向けての検討と長期展望に関する検討している。若手WGを立ち上げて、シンポを開催（総会終了後実施）/会長選挙の方法の見直しに伴う規定の改訂/名誉会員の制度について見直し、永年会員等から候補者を検討する。/理事会、各委員会での負担軽減、分担見直しの継続・会費の適正化（会員サービスに見合った会費を考える）/支出の適正化（財政の健全化を図る）/学会年度の区切りの見直し（決算の妥当性を確保する）/会則の整備（会員の規定など）/年会の運営・開催方式の見直し（共同開催など）を検討中である。⑤学会賞及び奨励賞について。日本放射化学会 学会賞規程に基づき、2013年学会賞を決定。

- ・学会賞：木村 貴海 氏（日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門）
「時間分解蛍光分光法によるアクチノイドおよびランタノイドの溶液化学に関する研究」
- ・奨励賞：応募無し

2. 2012 学会年度事業報告及び決算

庶務、会計担当理事等から報告があった。

a) 12 年度事業報告

①総会：第14回日本放射化学会総会（東工大、12/10/4）、②討論会：2012日本放射化学会年会・第56回放射化学討論会（東工大、12/10/3～5）、③研究発表会、講演会、研究会の開催（助成事業）：環境放射能夏の学校、13年9月、核化学夏の学校、13年、Eighth Workshop on the Chemistry of the Heaviest Elements, CHE 8, 13年9月、④学会、研究会等への共催、協賛、後援等：第14回「環境放射能」研究会（KEK）、13年2月、第2回環境放射能除染研究発表会（環境放射能除染学会）、13年6月、第2回中性子核反応測定装置 ANNRI 研究会（JAEA）、13年8月、第50回 アイソトープ・放射線 研究発表会、第8回 高崎量子応用研究シンポジウム（JAEA）、13年10月予定、第4回革新的原子力エネルギーシステム国際シンポジウム（INES-4）、13年11月予定、超重元素のワークショップ、Apsorc 後予定⑤会誌、研究報告、資料等の発行：「放射化学ニュース」第26号発行、2012年10月、「放射化学」第27号発行、2013年4月（13年度計画で説明）、「放射化学」第28号発行、2013年9月、Journal of Nuclear and Radiochemical Sciences, Vol.13, No.1, 2013、⑥学会賞および奨励賞1件の選考、⑦理事会の開催：第60回（12/12/22東大）、第61回（13/03/09東大）、第62回（13/06/15東工大）、第63回（13/09/22金沢）、⑧委員会活動等：学会賞選考委員会、和文誌「放射化学」編集委員会、ジャーナル編集委員会、インターネット管理運営委員会、⑨出版事業への取り組み：「放射化学の事典」（朝倉書店）来年年会までに発刊予定。

b) 会計報告

2012 学会年度（2012/9/1～2013/8/31）の収支決算について報告があった。また監事2名の会計監査報告があった。※文末に決算報告を掲載。

3. 2013 学会年度事業計画及び予算案

庶務、会計担当理事等から報告があった。

a) 13 年度事業計画案

①次回総会：名古屋大にて（14/9/12）、②討論会：2014日本放射化学会年会・第58回放射化学討論会14/9/11～9/13（名古屋大学）、③研究発表会、講演会、研究会の開催（助成事業）についてはそ

の都度対応する、④学会、研究会等への共催協賛後援等は、随時対応—予算の執行を伴わないものは出来るだけ賛同する、⑤会誌、研究報告、資料等：JNRS誌、和文誌「放射化学」の定期的発行、「放射化学の事典」刊行、「放射化学冊子 第3分冊（超重元素の化学）」刊行の予定。⑥学会賞および奨励賞の選考、⑦理事会の開催を数回予定、⑧委員会活動等：選挙管理委員会、推薦委員会、学会賞選考委員会、インターネット管理運営委員会の活動を継続する。⑨「放射化学」の改革と今後の編集体制：「放射化学ニュース」から学会和文誌「放射化学」に衣替え。昨年の総会でのパブリックコメントの意見を取り入れて、査読付原著論文・総説・依頼記事を掲載する。依頼総説は執筆者にとっても重要な業績になる。なお、従来の「放射化学ニュース」に掲載されていた様々な記事・情報はそのまま引き継ぐ。／今後の課題として、持続性のある編集体制の構築、現編集長が築いた質・ステータスを継承・発展させる。また特定の人に負担が集中しない編集体制の構築する。／内容面では記事提案「討論会注目発表欄」、「放射化学の歩み」など充実を図る。CiNii（国立情報学研究所）への登録で被検索の機会を増やす。

b) 予算案

来年度の収支案について報告があった。※文末に予算案を掲載。

2013学会年度事業計画および予算について、会場からの拍手をもって承認された。

4. 役員の選出方法に関する規定の改訂：会長選挙の方法（63rd理事会決議済み）について報告があった。改定内容は以下の通り。

第5条 推薦委員会は、被選挙役員の候補者（以下候補者という）のうち会長候補者以外について会員のなかから選考し、理事会に推薦する。また、推薦委員会は会長候補者については会員のなかから公募し、会員10名以上の推薦をもって会長候補者として認定する。付則 本規定（候補者の推薦方法の変更に伴う改正）は2013年9月25日から施行する。

5. 学会

2014日本放射化学学会年会、第58回放射化学討論会は、2014年9月11日（木）～13日（土）に名古屋大学IB館にて開催予定。スケジュール案：発表申込6月2日～31日、要旨原稿締切7月31日、参加予約申込締切7月31日。

6. 2013学会年度役員

会長 海老原 充（首都大）（2年目）
副会長 横山 明彦（金沢大）（2年目（1期））
理事 工藤久昭（新潟大）（2年目（1期））、佐々木隆之（京大）（2年目（1期））、鈴木達也（長岡技科大）（2年目（1期））、高橋嘉夫（広島大）（2年目（1期））、橋本和幸（原子力機構）（2年目（1期））、榎本和義（KEK）（3年目（2期））、渡邊雅之（原子力機構）（3年目（2期））、野村貴美（東大）（3年目（2期））、田上恵子（放医研）（3年目（2期））、百島則幸（九大）（3年目（2期））
監事 永井尚生（日大）（2年目（1期））、村松康行（学習院大）（3年目（2期））

○ 2013年日本放射化学学会学会賞、奨励賞

総会に引き続き授賞式が行われた。
学会賞 木村 貴海 氏（日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門）

以上

4. 会員動向（平成25年8月～平成26年2月）

新規入会（正会員）

氏名	所属
宮澤 俊義	静岡大学理学部附属放射科学研究施設
森川 恵子	純真学園大学保健医療学部放射線技術科学科

新規入会（学生会員）

氏名	所属
浅井 貴裕	新潟大学自然科学研究科核科学研究室

大隅 悠史	大阪大学理学部化学科篠原研究室
角田 之尚	金沢大学理工学域物質化学類放射化学研究室
重河 優大	大阪大学理学部化学科放射化学研究室
杉山 翠	学習院大学大学院自然科学研究科化学専攻村松研究室
橋本 里紗	学習院大学大学院自然科学研究科化学専攻村松研究室
福田 芳樹	金沢大学理工学域物質化学類放射化学研究室
松永 静	大阪大学理学部化学科篠原研究室
安井 良輔	大阪大学理学部化学科放射化学研究室
山形 武広	東京大学大学院総合文化研究家広域科学専攻松尾研究室

所属変更（個人会員／学生会員）

氏名	所属
天野 光	公益財団法人日本分析センター
飯島誠一郎	次世代バイオ医薬品製造技術研究組合筑波副サイト集中研
大槻 勤	京都大学原子炉実験所
長 明彦	日本原子力研究開発機構研究炉加速器管理部
柴田 誠一	理研仁科加速器研究センター
白橋 浩一	日本原子力研究開発機構原子力科学研究所福島技術開発試験部
土井 妙子	国立環境研究所環境計測研究センター
中山 真一	日本原子力研究開発機構安全研究センター
西中 一郎	日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター重原子核反応研究グループ
沼田 守	日揮（株）第3PJ本部
馬場 祐治	日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門

半澤有希子	日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究部門原子力化学ユニット分析化学研究グループ
間柄 正明	日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究部門原子力化学ユニット分析化学研究グループ
和田 彩佳	独立行政法人産業技術総合研究所計測標準研究部門無機分析科無機標準研究室
武山 美麗	独立行政法人理化学研究所仁科加速器研究センター

退会（個人会員）

氏名	氏名
岩田 錬	大西 徳幸
佐藤 望	鈴木 章悟
高橋 秀武	塚田 正道
中島 幹雄	三塚 哲正
山林 尚道	

退会（学生会員）

氏名	氏名
井上 章	今川 恵里
黒住 和奈	高間 大輝
富塚 知博	

逝去退会（永年会員）

氏名	氏名
小林 慎江	佐藤 純

退会（賛助会員）

社名・団体名
該当企業なし

除名（個人会員）

氏名	氏名
落合謙太郎	北島 昭人
木村 敦	酒井 宏
佐々木慎一	佐藤 治夫
佐藤 正知	柴 劍宇
高田 純	田中 宏昌
那須 為行	原野 有教
東 邦夫	本間 義夫
松沢 孝男	室山 俊浩
渡部 伸一	

会費未納退会（学生会員）

氏名	氏名
厚地 正樹	五十嵐恵美
石川 寛匡	井上 史士
片岡 正樹	金山 洋介
上島 淳慈	菊池 洋平
木下 亘	鈴木 陽介
須藤 達也	高橋 賢臣
竹田 光世	土屋 春樹
鶴岡 洋児	土居内隆喜
仲神 克彦	永田佳奈子
波岡 久恵	能村 美穂
吉河 朗	

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

収入の部

単位 (円)

項 目	予 算	収 入	差 額 (収入 - 予算)	備 考
個人会費	2,000,000	2,486,000	486,000	
賛助会費	1,300,000	150,000	△ 1,150,000	
雑収入	150,000	359,585	209,585	雑誌バックナンバー、書籍頒布、 寄付等
前年度繰越金	2,942,446	2,942,446	0	
収入合計	6,392,446	5,938,031	△ 454,415	

支出の部

単位 (円)

項 目	予 算	支 出	差 額 (予算 - 支出)	備 考
討論会補助金	200,000	200,000	0	APSORC13 (2013)
要旨集 (学会誌) 補助	500,000	500,000	0	第 56 回討論会 (2012)
出版事業費	1,380,000	1,046,979	333,021	
事務費	30,000	0	30,000	会議費、事務通信費等
「放射化学」印刷費	1,200,000	980,899	219,101	放射化学 26 号、27 号
発送費 (送料、封入作業費等)	150,000	66,080	83,920	送料、封入作業費等
会議費	530,000	461,450	68,550	旅費、会場費等
理事会	450,000	461,450	△ 11,450	旅費
委員会等	80,000	0	80,000	旅費
研究会等補助	200,000	200,000	0	環境放射能研究会、夏の学 校等
CHE8	0	50,000	△ 50,000	
環境放射能研究会	50,000	0	50,000	
核化学夏の学校	100,000	100,000	0	
環境放射能夏の学校	50,000	50,000	0	
事務局経費	520,000	467,097	52,903	
事務費	100,000	2,471	97,529	
選挙関係	0	0	0	(選挙が隔年のため)
外部委託費用 (会費、会員管理)	400,000	454,146	△ 54,146	会員名簿整備、会費請求等
通信費	20,000	10,480	9,520	切手、送金手数料等
ネットワーク管理運営費	35,000	34,239	761	プロバイダ費用 (年払い)
学会賞	55,000	41,055	13,945	
楯	40,000	33,600	6,400	
表彰状印刷、額縁	15,000	7,455	7,545	
共催金	5,000	0	5,000	
合計	3,425,000	2,950,820	474,180	
繰越残高	2,967,446	2,987,211		

銀行預金次年度繰越金

普通預金 2,987,211 円
(内訳)三井住友銀行 317,428 円
ゆうちょ銀行 2,669,543 円
現金 240 円

定額預金

(内訳) 3,736,083 円
基金 (黒田基金 40 万円を含む)記念事業分 2,808,981 円
基金 (斎藤基金) 626,960 円
300,142 円

預金合計

6,723,294 円

○ 2013 学会年度 (2013 年 9 月 1 日 - 2014 年 8 月 31 日) 予算

収入の部

単位 (円)

項 目	2012 学会年度	2013 学会年度	差 額	備 考
個人会費	2,000,000	2,100,000	100,000	
賛助会費	1,300,000	1,250,000	△ 50,000	
雑収入	150,000	150,000	0	バックナンバー、寄付等
前年度繰越金	2,942,446	2,987,211	44,765	
収入合計	6,392,446	6,487,211	94,765	

支出の部

単位 (円)

項 目	2012 学会年度	2013 学会年度	差 額	備 考
討論会補助金	200,000	200,000	0	2014 学会年度年会 (2014)
要旨集補助	500,000	500,000	0	APSORC13 (2013)
出版事業費	1,380,000	1,360,000	△ 20,000	
事務費	30,000	10,000	△ 20,000	事務通信費等
雑誌印刷費	1,200,000	1,200,000	0	放射化学 28 号、29 号
発送費	150,000	150,000	0	送料、封入作業等
会議費	530,000	530,000	0	旅費、会場費等
理事会	450,000	450,000	0	
委員会等	80,000	80,000	0	
研究会等補助	200,000	200,000	0	夏の学校等
事務局経費	520,000	750,000	230,000	
事務費	100,000	100,000	0	封筒印刷等
選挙関係	0	180,000	180,000	印刷、封入、送料、後納郵便代
外部委託費用 (会費、 会員管理)	400,000	450,000	50,000	
通信費	20,000	20,000	0	切手、送信手数料等
ネットワーク管理運営費	35,000	22,000	△ 13,000	プロバイダ費用
学会賞	55,000	55,000	0	2013 年度学会賞
楯	40,000	40,000	0	
表彰状印刷、額縁	15,000	15,000	0	
共催金	5,000	5,000	0	
予備費	2,967,446	2,865,211	△ 102,235	
支出合計	6,392,446	6,487,211	94,765	

「放射化学」論文編集委員会規定

(名称)

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

(編集委員会の構成)

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

第 3 条 編集委員長および編集委員の任期は 2 年とし、重任を妨げない。

(編集委員会)

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

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

(「放射化学」誌の発行)

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

(論文の審査)

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

第 7 条 論文審査の手続きは、別に定める審査内規による。

第 8 条 本規定の改定は理事会の決議による。

付則 この規定は、2013 年 1 月 1 日から施行する。

「放射化学」発行規定

(目的)

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

(「放射化学ニュース」との関係)

第 2 条

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

(掲載記事)

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

1. 審査付き論文

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

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

「放射化学」論文投稿規則

(投稿論文と依頼論文)

第4条 論文は投稿によるものと編集委員会からの依頼によるものとする。

(著者)

第5条 著者は本会会員であることを要しない。

(原稿の作成)

第6条 使用言語は日本語とする。

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

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

(論文の受け付け)

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

(審査)

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

(論文の掲載)

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

(掲載料、別刷り)

第12条 論文および各種記事の掲載料は徴収しない。また別刷りは作成しない。

(原稿料)

第13条 編集委員会の依頼による論文については原稿料を支給することがある。

(著作権)

第14条 論文誌に掲載された全ての論文等の著作権は本会に帰属する。

(本規則の改定)

第15条 本規則の改定には理事会の決定を要する。

付則 この規則は、2013年1月1日から施行する。

「放射化学」論文投稿の手引き

1. はじめに

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

2. 投稿に際しての注意事項

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

3. 原稿作成時の注意事項

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

4. 校正および論文誌発行後の正誤訂正

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

5. 投稿先

〒 590-0494 大阪府泉南郡熊取町朝代西二丁目
京都大学原子炉実験所 大槻 勤 編集委員長
Tel: 072-451-2466
e-mail: ohtsuki@rri.kyoto-u.ac.jp

学位論文要録執筆候補者の推薦について

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

☆ ☆ ☆

「会員の声」欄へのご寄稿のお願い

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

☆ ☆ ☆

会員の異動に伴う連絡のお願い

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

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

放射化学 第 29 号

平成 26 年(2014 年) 4 月 25 日発行

編集

日本放射化学会編集委員会(放射化学担当)

委員長：大槻 勤、委員：中島 覚、佐々木隆之、箕輪はるか、濱島靖典、大矢恭久、
安田健一郎、阿部琢也

連絡先：〒 590-0494 大阪府泉南郡熊取町朝代西二丁目 京都大学原子炉実験所
大槻 勤 (e-mail: ohtsuki@rri.kyoto-u.ac.jp)

発行

日本放射化学会

出版・広報担当理事：高橋嘉夫

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

印刷

松枝印刷株式会社

〒 303-0034 茨城県常総市水海道天満町 2438

本誌掲載記事の著作権は日本放射化学会に帰属します。

賛助会員

株式会社アトックス

日立アロカメディカル株式会社

キャンベラジャパン株式会社

クリアパルス株式会社

サンゴバン株式会社

セイコー・イージーアンドジー株式会社

大栄無線電機株式会社

株式会社千代田テクノル

東京ニュークリア・サービス株式会社

東北ニュークリア株式会社

長瀬ランダウア株式会社

株式会社日本環境調査研究所

富士電機株式会社

富士フィルム RI ファーマ株式会社

株式会社ラボラトリ・イクイップメント・コーポレーション

公益財団法人 原子力安全技術センター

新潟県放射線監視センター

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

公益財団法人 日本分析センター

公益財団法人 放射線影響協会

一般財団法人 放射線利用振興協会

北海道電力株式会社

東北電力株式会社

中部電力株式会社

中国電力株式会社

九州電力株式会社



公益財団法人 原子力安全技術センター

放射線障害防止法に基づく登録機関業務

登録検査機関

問い合わせ先: 03-3814-7301

使用施設、貯蔵施設、廃棄施設等の施設検査・定期検査及び定期確認

登録定期確認機関

登録運搬物確認機関

問い合わせ先: 03-3814-7483

承認容器による輸送の運搬物確認

登録運搬方法確認機関

承認された積載方法による輸送の運搬方法確認

登録認証機関

問い合わせ先: 03-3814-7301

放射性同位元素装備機器の設計認証



登録資格講習機関

問い合わせ先: 03-3814-7100

第2種及び第3種の放射線取扱主任者免状取得のための講習

登録試験機関

問い合わせ先: 03-3814-7480

第1種及び第2種の放射線取扱主任者試験

登録定期講習機関

問い合わせ先: 03-3814-5746

放射線取扱主任者の資質向上のための講習

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

〒112-8604

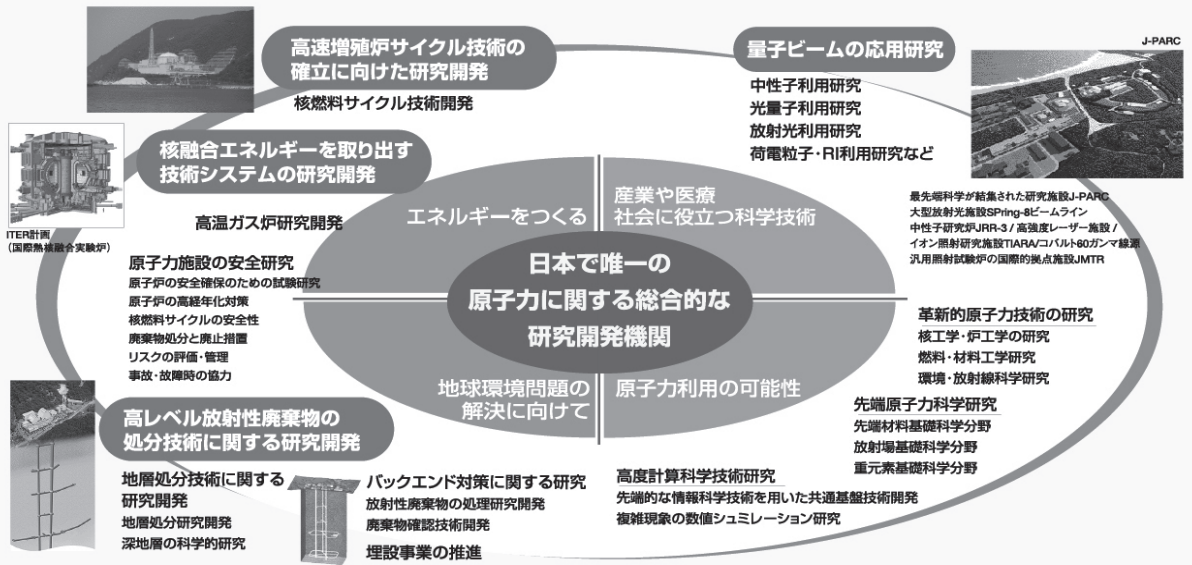
東京都文京区白山5丁目1番3-101号 東京富山会館ビル4階

ホームページ <http://www.nustec.or.jp/>

JAEA 日本原子力研究開発機構

東京電力(株) 福島第一原子力発電所事故への対応

日本で唯一の原子力に関する総合的な研究開発機関として、原子力機構の総力を挙げ、人材、研究施設を最大限に活用し、環境回復や原子炉廃止措置に向けた技術開発等に取組んでいます。



社会との信頼・連携

安全管理・原子力防災・情報公開

国際協力と人材育成(核不拡散体制への貢献) 広聴・広報活動

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49

TEL: 029-282-1122 (代表)

ホームページ: <http://www.jaea.go.jp>



環境放射能、安定同位体比等の分析専門機関です

① 環境放射能に関する分析



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

相互比較分析

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



② 精度管理

技能試験

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



③ 環境放射能分析研修

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



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

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

問合せ先

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

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

放射線分野における科学技術の進展に貢献しています



～主な業務～

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

公益財団法人 放射線影響協会

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

放射線従事者中央登録センター

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

放射線疫学調査センター

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

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

◆ **放射線・原子力利用の普及事業**

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

◆ **照射サービス事業**

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

◆ **技術移転事業**

- ・ 産業界からの中性子利用のいろいろなニーズに応えます

◆ **原子力研修事業**

- ・ 第3種放射線取扱主任者講習はじめました(放射線取扱主任者講習修了証が発行されます)
- ・ 原子力人材育成のための研修の実施
- ・ 教員免許状更新講座
- ・ 原子力・放射線に関する研修会の企画・開催支援

一般財団法人 放射線利用振興協会

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

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

メンテナンス。



厳しく、

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

<業務内容>

- 原子力発電関連施設・原子燃料サイクル施設のトータルメンテナンス
 - 放射線管理 ●放射性汚染除去 ●廃棄物処理 ●ランドリー
 - 清掃・区域管理 ●設備/装置運転・点検保守 ●輸送
 - 分析 ●各種工事など
- RI等使用施設のトータルメンテナンス
 - 放射線管理 ●作業環境測定 ●放射性汚染除去 ●廃棄物処理
 - 清掃・区域管理 ●施設/設備運転・点検保守 ●加速器運転
 - フィルター交換 ●各種工事
 - 機器販売、同位体販売、マニプレータ販売 など
- PET薬剤製造事業
 - PET治療薬製造、ホットラボ運営、
治験薬GMP支援 など

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

- 本社：〒104-0041 東京都中央区新富2-3-4 TEL.(03)5540-7950 FAX.(03)5541-2801
- R I 事業部：〒104-0041 東京都中央区新富2-3-4 TEL.(03)5540-7952 FAX.(03)5541-2802
- 技術開発センター：〒277-0861 千葉県柏市高田1201 TEL.(04)7145-3330 FAX.(04)7145-3649
- RI事業関連部署：札幌事務所 TEL.(011)205-5205/大洗営業所 TEL.(029)266-1331/大阪営業所 TEL.(06)6384-6730
東海営業所 TEL.(029)282-1662/東京営業所 TEL.(03)5540-7953/福岡事務所 TEL.(092)483-0240
神戸医療オフィス TEL.(078)599-6851



サーベイメータ

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

HITACHI
 Inspire the Next

ALOKA
 illuminate the change

●表面汚染測定用

β線測定用

TGS-146B

TCS-319H

TCS-316H

TPS-313

γ線測定用

TCS-173C

α線測定用

TCS-232B

α・β線測定用

TCS-362

●線量当量率測定用

γ(α)線測定用

ICS-323C

TCS-171B

TCS-172B

PDR-111

n線測定用

TPS-451C

日立アロカメディカル株式会社

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

キャンベラジャパンの放射能測定システム



放射線測定の基礎から応用まで
 広範で卓越した製品を提供しています。



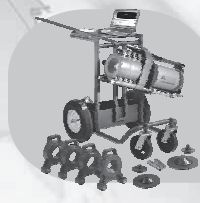
ゲルマニウム半導体検出器



InSpector1000™ : 可搬型
 デジタルスペクトロサベイメータ



PIPS 荷電粒子検出器



ISOCSTM™ :
 ガンマ線分析システム



FASTSCAN™ :
 ホールボディカウンタ



放射線測定における世界的リーディングカンパニー

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

クリアパルス（株）が提供する主要製品

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

多チャンネルプリアンプ、多チャンネルプリアンプ、多入力PHA

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

電離箱、環境モニタ、高圧バイアス電源、NIMビン電源、ミニビン電源

電流電圧変換器、マルチワイヤビーム位置モニタ回路

加速器制御機器、信号変換器、アナログ/デジタル制御器

データ計測・収集・転送システム

その他物理計測器、特注機器



8630型ハンドポーン



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



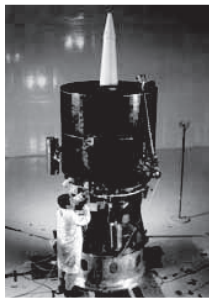
80110型プリアンプ



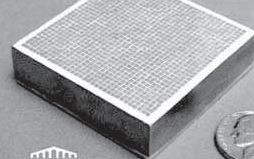
80112型MPX



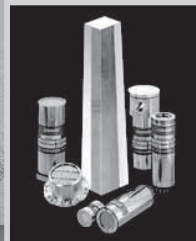
LYSO、LaCl₃、LaBr₃、NaI、CsI、BGO、CdWO₄、ZnS、YAG ...
 プラスチック、ファイバー、液体シンチレータ、アレイ状シンチレータ、
 ライトガイド、GM管、比例計数管、³He検出器等
 サンゴバンは、素材からプローブ・特殊用途まで、
 グローバル・スタンダードな最高品質のシンチレータを提供いたします。



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)

ORTEC®

Micro-trans-SPEC



ゲルマニウム半導体検出器を搭載したバッテリー駆動型ポータブルγ線分析装置登場！

特長

- 電気冷却式Ge分析装置の中でも最小・最軽量(約6.8kg)
- 装置本体のみでリアルタイム放射能定量分析計算(Bq)
- 堅牢な筐体、防塵・防滴構造(ファンによる外気吸入なし)
- バッテリーチャージャーをビルトイン
- In-Situ測定、緊急時対応に最適

SII

セイコーイーシーアンドジー株式会社

本社・東京都中央区八丁堀 2-26-9 グランデビル6F

電話番号：03-5542-3101(代表)

<http://www.sii.co.jp/segg/>

WISSY | メスバウア用測定装置システム

低価格でPCとMCS/PHAモジュールでメスバウア簡単測定

CMCA-500/550

IBM PC/AT用メスバウア測定MCAモジュール

【特徴】

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

【仕様】

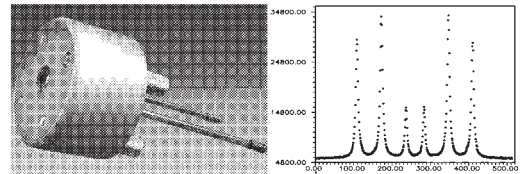
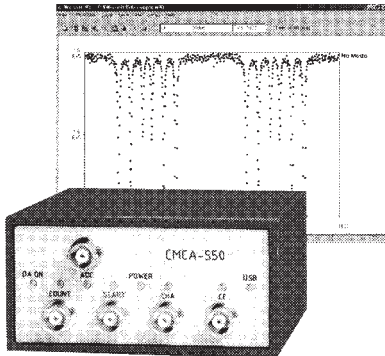
入力: COUNT, START, CHA, COUNT ENABLE, ADC (CMCA-550のみ)

MCS部:

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

ADC部 (CMCA-550のみ):

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



RiKon-5 CEMS Detector

【特徴】

- 測定温度範囲 100K~室温
- 入射γ線方向 0°~60°可能
- サンプルの交換が簡単
- 薄いフィルムや表面層の試験に適當
- 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證
- ガスフローを維持すれば、長期の測定に適當
- 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



お客様の声を
カタチにして

より便利に
リニューアル!



新型 ガラスバッジ誕生

お客様の声にお応えしました。

※2014年1月からリリース開始。

5つのリニューアルポイント



小さくて
見にくい...

名前を大きく、
ラベルの見やすさを
アップ!



肌に当たって
痛い...

薄型ケースで
クリップを幅広にし、
フィット感をアップ!



中性子用が
大きくて
使いづらい...

中性子用を、X線用、
広範囲用と同じ
コンパクトサイズ!



バッジケースの
リユース(再利用)
が気になる...

シュリンク包装に
して清潔感を
アップ!



時代的に、
世界標準も
気になる...

国際規格
(IEC 62387)に
対応!

株式会社 千代田テクノリ 営業部 www.c-technol.co.jp

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

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・アイソトープに関する
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



東京 千代田 株式会社

東京本社：東京都台東区台東 1-3-5 (反町ビル 7F)

東海営業所：茨城県那珂郡東海村村松字平原 3129-31

つくば健康センター：茨城県つくば市緑ヶ原 4-19-2

大阪事業所：大阪府中央区内本町 1-2-5 (YSK ビル 5F)

六ヶ所事業所：青森県上北郡六ヶ所村大字尾駮字野附 1-4

〒110-0016 TEL.03 (3831) 7957

〒319-1112 TEL.029 (282) 3114

〒300-2646 TEL.029 (847) 5521

〒540-0026 TEL.06 (4792) 3111

〒039-3212 TEL.0175 (71) 0710



個人被ばく線量測定 クイクセルバッジサービス

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



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



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

ホームページ <http://www.jer.co.jp/>

本 社 : 〒160-0023 東京都新宿区西新宿 7-8-13 (栗原ビル3F) Tel.03-3367-3281 Fax.03-3367-5934
 技術開発研究所 : 〒342-0008 埼玉県吉川市旭 8 番 3 Tel.048-991-9461 Fax.048-991-9460
 青森営業所 : Tel.0175-75-2130 東京営業所 : Tel.048-991-9461
 仙台営業所 : Tel.022-715-6081 静岡営業所 : Tel.0537-86-7176
 柏崎営業所 : Tel.0257-21-4868 掛川オフィス : Tel.0537-28-8181
 福島営業所 : Tel.0240-32-6017 名古屋営業所 : Tel.052-588-5875
 茨城営業所 : Tel.029-860-5073 大阪営業所 : Tel.06-6251-2099

作業環境測定機関11-4(放射性物質) ISO9001:2000認証
 非密封放射性同位元素取扱施設(技術開発研究所)
 管工事業/建具工事業/とび・土工事業/機械器具設置工事業
 一般労働者派遣事業 高度管理医療機器等販売業・賃貸業

富士電機の放射線測定器

より正確に より簡単に

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

〔取扱製品〕

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

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



富士電機株式会社 放射線システム部

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

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

営業所

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

FUJIFILM

診断そして、治療へ。

やがて、笑顔につながる核医学。

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

早期診断。身体に負担の少ない治療。

核医学診療はより大きな役割を担っていくと、私たちは確信しています。

富士フイルム RI ファーマは、核医学診療には欠かせない、

放射性医薬品のエキスパートとして、医療の発展に寄与してまいりました。

今後も、この分野をより積極的に推し進めるとともに、

グループの総力を結集し、医療と健康に貢献してまいります。



富士フイルム RIファーマ株式会社

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