Photo J.Mori

Index

海底土中の放射性物質濃度の面的な把握に向けて……小田野直光　1

ラジオアイソトープ（RI）の製造 ……山林　尚道　6

食品照射を利用して貧困の削減を……町　末男　11

大貫台GASシステムの紹介
　～第二世代のガラスバッジ～……野呂瀬富也　12

〔新刊紹介〕
　土壌汚染－フクシマの放射性物質のゆくえ……　17

第57回放射線安全技術講習会開催要項 ……　18

ご案内
　2014年製薬放射線研修会（第16回製薬放射線コンファレンス総会）…　18

〔サービス部門からのお願い〕
　新型ガラスバッジのシュリンク包装について……　19

海底土中の放射性物質濃度の面的な把握に向けて

小田野直光*

1．はじめに

東日本大震災に伴い発生した福島第一原子力発電所事故により、大気及び海洋に放射性物質が放出された。東京電力の発表によれば、海洋への放出量は、^{137}Csは3.6×10^{15}Bq、^{134}Csは3.6×10^{15}Bqである[1)]。^{137}Csの半減期は30.1年であり、今後、長期間にわたりモニタリングが必要である。陸域については、事故直後から、様々な機関が精力的にモニタリングを実施し、事故後３ヶ月程度で、詳細な放射性物質の分布マッピング図が作成されている。一方で、海域における放射性物質の分布を把握するためには、船舶で採水及び採泥した後、陸上で採取した試料の核種分析を行うことが必要である。そのため、事故後４ヶ月の平成23年７月において、文部科学省が仙台湾から福島沖における海底土中の放射性物質濃度として発表したデータは、10km以上離れている９地点の情報しか存在しない。最近では、海洋のモニタリングも重視されるようになり、海水及び海底土中の定点モニタリング地点は増加しているが、採泥地点は、数km～５km離れており、分布状況の詳細は把握しにくいのが現状である。海上技術安全研究所（以下、「海技研」）では、東京大学生産技術研究所（以下、「東大」）が開発した曳航型放射線検出器を活用し、平成24年から、海底土中の放射性物質の分布状況を把握するため、東大等と連携し、連続的な計測を実施してきた。本稿では、海底土中の放射性物質濃度の連続計測手法、測定結果、今後の展開等について述べる。

2．曳航型放射線計測の方法及びデータ解析

2.1　曳航型放射線検出器

曳航型の放射線計測については、1970年代から、イギリス、アメリカ、ロシア等の研究機関により研究されてきており[2)]、必ずしも新しい手法ではない。曳航型放射線計測の概念は、**図１**に示すように、ガンマ線スペクトロメータを搭載した曳航体を、船舶からワイヤーで海底面に接触させるような形で曳航するものである。これにより、試料採取による核種分析では得ることができない、線状の放射線分布に関する情報を取得することが可能となる。

東大が開発した曳航体の主要目を**表１**に

図１　曳航型放射線計測の概念

＊ Naoteru ODANO　海上技術安全研究所　海洋リスク評価系長

表１　曳航体の主要目[3)]

寸　　法	直径1.15m、長さ８m
重　　量	空中：135kg、水中：115kg
耐圧深度	500m
曳航速度	２ノット（約１m/s）
検出器	３×３インチNaI（Tl）シンチレータ
データ収集	1024チャンネル（0.1～1.8MeV）、1Hz
そ の 他	深度計、温度計、３軸加速度計、集音マイク

図２　ガンマ線スペクトロメータ[3)]

示す。曳航体は、直径15cm、長さ８mのゴムホースであり、この曳航体の先端部にガンマ線スペクトロメータが収納されている。船舶の船尾部から曳航体を曳航し、海底のガンマ線を捉えるには、常に曳航体の先端（検出器部分）が海底に接している必要がある。そのため、ゴムホースには、錘４個を分散させて収納し、水中重量を115kgとし、海底からの浮き上がりを防止している。また、ゴムホースは、海底を曳航する際に発生する振動や衝撃を吸収する役割も担っている。

海底の放射線を計測する場合は、単に放射線だけを計測するだけではなく、様々な海の情報を取得して、分析に活用する必要がある。そのため、曳航体には、深度計、水温計が装備されており、計測された放射線の情報と突き合わせて利用することが可能である。

ガンマ線スペクトロメータとしては、**図２**に示すような、直径３インチ、長さ３インチのNaI（Tl）シンチレータを使用しており、計測システムは、アルミニウム合金製の水密・耐圧容器に封入されている。光電子増倍管、マルチチャンネルアナライザ等への給電は、内蔵バッテリーによっており、マルチチャンネルアナライザからの信号は１秒毎に、データロガーに収録される。曳航速度は約２ノット（約１m/s）の運用を想定しており、約１m曳航した際の積分的なスペクトル情報が記録される。なお、水密・耐圧容器内には、曳航体の振動、衝撃がスペクトロメータに伝わることを防止するゴム製のリングが装備されている。

2.2　装置の運用

曳航型放射線検出器の運用は、調査船の船尾部から、曳航体をワイヤーで曳航することで行う。曳航速度は約２ノット（1m/s）とし、曳航時に曳航体が海底から跳ね上がらないようにする。曳航速度は、放射性物質の検出効率を考えると、測度は遅い方が有利であるが、船舶を２ノット未満で航行させ、針路を一定に保ち航行することは海流の影響もあり難しいことと、曳航速度が遅いと１日あたりの計測可能な曳航距離が短くなることから、現状は２ノットでの曳航としている。

曳航時に繰り出すワイヤーの長さは、水深の約３倍程度を目安にし、深度変化に応じて、ワイヤーの長さを調整する。船舶には衛星測位システム（GPS）が装備されており、GPSの緯度・経度情報の他、船速、深度、ワイヤー長から、海中での曳航ワイヤーの放物線状の形状を考慮した計算を行うことにより、曳航体の緯度・経度を求めることが可能である。ただし、海流や、底質の性状は、曳航体の位置に影響を及ぼすことを考慮する必要がある。水深100m程度までの沿岸域では、海流及び底質の影響は数10m程度と考えられることから、計測データの位置情報の不確実さとして考慮している。

また、曳航体の運用にあたっては、海底地形と底質の情報を予め得ておくことが重要である。海技研と東大では、曳航調査を実施する前に、サイドスキャンソナーあるいは、マルチビーム測深機という音波を用いた海底地形及び底質に関する海底面探査を行っている。

また、平成25年12月までに実施した曳航調査の総延長は約1,000kmに達し、これまでに、400～900トン程度の調査船、60トン程度の漁業調査船、20トン未満の小型漁船での運用の実績がある。

2.3　データ解析

ガンマ線スペクトロメータによる計測データは、１秒毎にデータロガーに記録される。曳航装置は移動しながら１秒間データを積算することになり、１秒間だけの計測では、十分な統計精度を得ることができないので、一定時間の計測結果を平均化処理する必要がある。平均化処理にあたっては、平均化処理後の^{137}Cs及び^{134}Csの光電ピークカウントの誤差が５％以下になるように処理を行っている。このため、２ノットで曳航している場合に、５％以下の統計精度とするためには、海底土中の^{137}Csの濃度が1,000Bq/kg-wetの場合、約８m程度の平均化処理が必要となり、これが曳航型放射線検出器の曳航測線上での空間分解能となる。なお、スペクトロメータとして直径３インチ、長さ３インチのNaI（Tl）シンチレータを使用しているが、**図３**に示すように、605kevの^{134}Csと662keVの^{137}Csのピークは分離できている。

上記の解析を行い、ガンマ線スペクトロメータで計測される量は、^{137}Cs及び^{134}Csの光電ピークカウントであり、単位はcpsである。陸上土壌の放射性物質濃度の測定結果と同様に、原子力規制庁等が発表している海底土中の放射性物質濃度は、乾土換算のBq/kgで整理されており、cpsからBq/kgへの換算を行うことが必要である。この換算係数は、**図４**のように海底土壌及び検出器体系をモデル化し、モンテカルロ法により体系内での

図３　計測したガンマ線スペクトルの例

図４　Bq/kgへの換算係数算出用のモンテカルロ計算用モデル（左図：横断面、右図：縦断面）

^{137}Cs及び^{134}Csから放出されるガンマ線の挙動を評価することにより算出した。モンテカルロ計算においては、海底土中の放射性物質の鉛直分布と海底土の密度を設定する必要がある。海底土の密度は、含水率及び底質によって変化することが知られており[4]、密度2.0g/cm^{3}の高含水率土壌（シルト質粘土）と 密度1.4g/cm^{3}の低含水率土壌（粗砂）について、代表値として評価した。また、海底土中の放射性物質の鉛直分布については、複数の海域において柱状採泥した試料をスライス状に分取し、それらの試料について高純度Ge半導体検出器により^{137}Cs及び^{134}Csの濃度を分析することにより鉛直分布を導出し、その実測値に基づき設定した。曳航体は水中重量で115kgあり、柔らかい底質の場合には、海底に沈み込んでいることがわかっている。検出器が１cm沈み込むことにより、換算係数は約10%増加することがモンテカルロ法による評価で明らかとなっている。このため、沈み込み量を補正する必要があるが、曳航体の先端に曳航式ソナーを装備させ、沈み量を同時に計測し、換算係数の補正をすることで、今後、精度を上げる予定である。現状では、底質の密度、沈み込み量、鉛直分布の選択によって生じる換算係数の差は、計測データの不確実さとして考慮している。

なお、これらのモンテカルロ法を用いた換算係数の評価については、海底での測定を模擬したベンチマーク実験を行い、解析と実験による換算係数はよく一致することを確認している。また、曳航測定の測線が、文部科学省、原子力規制庁等の採泥による測定結果が公表されている地点を通る場合は、それらのデータとの比較を行っており、よく一致する

ことを確認している。従って、計測及び解析方法の妥当性は担保できていると考えている。

3．海底土中の放射性物質濃度の計測結果

海技研と東大では、平成24年８月から平成25年12月まで、総延長約1,000kmにわたり、曳航型放射線検出器により、海底土中の放射性物質濃度の測定を実施してきた。これまでに測定を行った海域は、福島県沖、北茨城市沖、阿武隈川河口沖、仙台湾から福島県沖にかけての海域である。

図５は、平成24年11月及び平成25年２月に実施した、東京電力福島第一原子力発電所沖の海底土中の放射性物質濃度の測定結果を示したものである[5)]。図５からも明らかなように、曳航型放射線検出器による測定結果は、線状の結果ではあるものの、面的な分布を明確に捉えている。海底土中の^{137}Cs濃度の沿岸からの距離に応じた平均値は、４kmまでの平均は290±30Bq/kg-wet、４～12kmまでの平均は69±８Bq/kg-wet、12km～20kmまでの平均は140±20Bq/kg-wetとなっており、沖合でも比較的高濃度の海域が存在することが明らかとなった。このような分布の形成は、底質の性状の違い及び事故直後の高濃度汚染水の流れの影響と考えられる。

図５に記載されているA～Dは、他の海域と比較して高い濃度で放射性セシウムが測定された海域であるが、海底地形との関係を示

図５　福島第一原子力発電所近傍の海底土中の放射性物質濃度[5)]

図６　放射性物質濃度分布と地形の関係[5)]

したものが**図６**である。海域Aについては、沖合5.9kmにおいて８mの南向きの段差が確認でき、その底で^{137}Csの濃度が数100mにわたり高くなっている。また、海域Bについては、沖合3.2kmにおいて3.5mの西向きの段差が確認され、その底で^{137}Csの濃度が数10mにわたり高くなっている。海域Cについては、沖合10.3kmにおいて緩やかな窪み地形が存在し、約100mにわたって^{137}Cs濃度が高くなっている。これらの測定結果より、窪み地形の底に放射性物質が滞留しやすい状況があることが明らかになった。このように、数10m～数100mの幅で放射性物質の濃度が高い箇所は、20箇所以上存在し、また、その濃度は1,000Bq/kg-wet以上である。また、福島第一原子力発電所の沖合1.6kmの海域Dについては、地形には海域A～Cのような特徴は見られないが、数mの狭い範囲で^{137}Csの濃度が40,000±4,000Bq/kg-wetと局所的に高い地点が見つかっている。

4．今後の展開

原子力規制庁では、平成25年度放射性物質測定調査委託費（海域における放射性物質の分布状況の把握等に関する調査研究）事業を平成25年度８月から開始し、海技研、東大、

金沢大学が連携して、福島県沖、阿武隈川河口沖合の調査を実施している。平成25年度の調査で、福島県沖については、総延長約700kmのデータが取得できる見込みである。この調査により、海底土中の放射性物質の濃度の経時変化や、面的な広がり、河川の影響等が明らかになりつつある。

また、JST先端計測分析技術・機器開発プログラムの放射線測定領域・実用化タイプの課題として、海底土放射能分布測定ロボットの開発（平成25～27年度）が採択され、三井造船、海技研、東大、九州工業大学、福島県水産試験場のチームにより、100m×100m程度の局所的な海域を対象に、海底画像とともに面的な放射性物質分布を把握するための海中ロボットの開発を開始した。これにより、曳航型測定システムでは困難であった、より局所的な放射性物質の面的な把握も可能になると考えている。

さらに、これらの調査結果を踏まえ、原子力発電所事故による漁業への影響について、より詳細に検討していくことが、今後の重要な課題の一つである。水産庁の平成26年２月の発表によれば[6)]、水産物の放射性物質については、基準値（100Bq/kg）を超える割合は事故からの時間の経過に伴い低下してきており、特に福島県においては、平成23年４～６月期には基準値を超える割合が53％となっていたが、平成26年１月期は1.8％まで低下している。また、福島県以外の自治体における調査結果は、平成26年１月期には、0.2％まで低下している。これらの事実も踏まえ、風評被害を払拭するための情報発信も、我々の責務であると考えている。

本稿で紹介した海底土中の放射性物質濃度の広域分布の把握に関する調査結果は、漁業復興のための対策の検討、海中作業の安全確保等に活用されることが期待できる。また、海底地形や底質の分析結果も活用し、海域における放射性物質の沈着メカニズムの解明にも重要なデータを提供することが可能であり、今後、継続的な調査を実施することにより、放射性物質の海底における分布状況の中長期的な予測にも活用してくことが可能であると考えている。

謝　辞

海技研と東大で実施してきた海底土の放射性物質の分布状況調査の実施にあたっては、いわき市漁協協同組合、相馬双葉漁協協同組合、宮城県漁協協同組合、福島県水産試験場、宮城県水産技術総合センターの東日本大震災の被災地の方々の多大なご協力にもとに実現できたものであり、これらの方々に感謝申し上げます。また、本研究の実施にあたっては、三井物産環境基金、海洋生物環境研究所、水産総合研究センター、水産庁、原子力規制庁の支援をいただいたことに、感謝申し上げます。また、本研究の手法、実海域での計測、結果の解釈について日頃から議論し、研究を分担していただいている、共同研究者である東大生産技術研究所のソーントン・ブレア特任准教授、海技研の浦環水中工学センター長、大西世紀主任研究員、鎌田創研究員に感謝申し上げます。

参考文献

1）東京電力株式会社、福島原子力事故調査報告書（2012）.
2）D. G. Jones, J. Environ. Radioact. 53, 313-333（2001）.
3）B. Thornton, et al., Deep Sea Res. Part I Oceanogr. Res.Pap.,79, 10-19（2013）
4）E. L. Hamilton, J. Geophys. Res. 76,579-604（1971）
5）B. Thornton, et al., Mar. Pollut. Bull., 74, 344-350（2013）.
6）水産庁、水産物の放射性物質調査について（2014）.

著者プロフィール

昭和62年立教大学理学部物理学科卒業。平成４年東北大学大学院工学研究科原子核工学専攻博士課程修了。同年、運輸省船舶技術研究所に入所し、放射線遮蔽研究に従事。その後、日本原子力研究所出向を経て、平成13年10月より海上技術安全研究所に勤務。放射性物質の海上輸送時の放射線安全、環境影響評価等の研究の他、核セキュリティ、船舶・海洋構造物のリスク評価等に従事。平成23年４月より、海洋リスク評価系長（現職）。平成25年７月より、水中工学センター副センター長を兼務。

ラジオアイソトープ（RI）の製造

山林　尚道*

放射線やラジオアイソトープ（以下RIと記す）は、教育、基礎科学の研究から医療、工業、農業の産業分野まで広く浸透して利用され、その経済効果は４兆1,117億円（平成19年度放射線利用の経済効果に関する調査）と報告されている。特に、X線CTやSPECT、PET-CT（陽電子断層撮影）などの利用拡大は著しく、診断・治療面では最も広く使用され私たちの生活と環境の向上に寄与している。ここでは、RIの分野についてその製造の現状を述べる。

私たちの身の回りにあるものは、全て元素からできている。その元素は92個の安定な元素と元素番号93から116までの人工元素から成り立っていて、各元素の原子核には安定なものと不安定なものが存在する。同じ元素の中で安定な原子核として存在する安定同位体（SI：Stable Isotpope）と放射線を放出し安定な原子核になる放射性同位体（RI：Radio Isotope、放射性同位元素とも言う）が存在する。RIはα線、β線、γ線、中性子などの放射線を放出し固有の半減期で崩壊し安定な元素となる。これらの放射線は利害を勘案して多くの分野で有効に利用されている。

１．RIの製造法

RIを製造するには原子炉や加速器によりターゲット原子核（Target Nuclide）に中性子や荷電粒子を照射し核反応を起こさせる。照射するターゲット核の（n,γ）、（n,p）、(n,α)、(n,2n)、(p,n)、(d,n)、（γ,n）反応などにより生成する核種の原子番号と質量数の関係を**図１**に示す。また、ウラン-235の核分裂反応により生成する核種から目的とするRIを分離・精製することもできる。研究用原子炉（JRR-2）を利用してU-235核分裂法でMo-99を製造した時の核分裂生成物の例を**図２**に示した。

核反応の選定は目的とするRIが、無担体(Carrier Free）か、比放射能（Specific Activity）が高いか、もしくは低くても大量の放射能が得られるか、放射化断面積が大きいか、副反応生成物の混入が少なく純度が高く、高収率で得られるか、照射

原子番号 ＼ 質量数	N-3	N-2	N-1	N	N+1	N+2	N+3
Z+2						(α, 2n)	(α, n)
Z+1				(p, n) (d, 2n)	(d, n) (p, γ)		(α, p)
Z			(n, 2n) (γ, n)	ターゲット核	(n, γ) (d, p)		
Z-1	(p, α)	(d, α)	(n, d) (γ, p)				
Z-2	(n, α)						

図１　ターゲット核の核反応で生成するRIの原子番号と質量数

図２　99Mo製造のための235U核分裂生成核種

＊ Hisamichi YAMABAYASHI　弊社 大洗研究所アドバイザー

ターゲットの調製の難易、照射安全性や採算性などから決まる。特に、医療分野では放射性薬剤などの体内投与に関連し無担体、または高比放射能RI製品が望まれ、ターゲットとして安定濃縮同位体^{10}B、^{18}O、^{98}Mo、^{100}Moなどが使用される。工業用非破壊検査用RI線源にも^{74}Se、^{168}Ybなどの安定濃縮同位体が使用されが、安定濃縮同位体は高価なため再利用される場合がある。

原子炉は大量の中性子源であり、加速器では陽子や荷電粒子の利用が可能である。これらを使用して多くのRIが製造される。生成量の計算は、次式で表される。

$$N=N_0\Phi\sigma\ (1-e^{-\lambda t})\ /\lambda$$

$$A=N_0\Phi\sigma\ (1-e^{-\lambda t})$$

N： t時間照射後の生成核種(RI)の原子数
A： 照射直後の生成核種(RI)の放射能(Bq)
N_0： ターゲット核種の原子数
Φ： 中性子束密度（粒子フルエンス率）
又は、荷電粒子束密度
σ： 放射化断面積（barn, 1b=1×10^{-24}cm^2）
又は、核反応断面積
λ： 生成核種（RI）の壊変定数
λ＝0.693/$T_{1/2}$（$T_{1/2}$：生成RIの半減期）
t ： 照射時間

照射時間が生成核種の半減期より著しく大きいとき（λt≫1）は、A≒$N_0\Phi\sigma$となり、生成する核と崩壊する核が等しくなる。このときの生成量を飽和値という。一般に、目的とするRIが生成する（n,γ）、(n,p)、(n,α)、(n,2n)、(n,f)、(n,2n)、(p,n)、(d,n)、（γ,n）反応などの反応の断面積が分かれば、この式で生成量は計算できる。

世界各国の研究用原子炉・試験炉を使用したRI製造の状況は、1989年IAEA発刊研究用原子炉集（DIRECTORY OF NUCLEAR RESARCH REACTORS）によれば臨界実験炉を含めて稼働中の研究炉は319基であり、そのうち教育、研究用、医学、工業用RI、超ウラン元素の製造などに利用されているのは、123基である。近年、^{99}Mo-^{99m}Tc、^{60}Co、^{192}IrなどのRI生産用に定常的に利用されている主な原子炉を**表１**に示す。これらのRI生産炉は高経年化の時代を迎えている炉が多く、安定供給面での影響が懸念されている。

国内では、1995年当時日本原子力研究所（現・日本原子力研究開発機構）アイソトープ部でカタログアップされ製造・供給されていたRIは、精製RI（^{14}C、^{24}Na、^{32}P、^{35}S、^{42}K、^{64}Cu、^{99}Mo、^{198}Auなど29核種、31品目）、工業用RI線源（^{60}Co、^{192}Ir など５品目）、医療用RI線源（^{198}Au、^{192}Irなど10品目）であった。当時、反跳効果（ホットアトム効果）を利用して比放射能の高い^{51}Cr、^{64}Cuを世界に先駆けて供給したことは特筆すべき成果であった。しかし、2000年に工業用RI線源、医療用RI線源の製造は㈱千代田テクノルに民間移転され、2003年には特殊法人改革対応として文部科学省の方針により精製RIの製造頒布も終了した。

現在、大学関係研究炉、日本原子力研究開発機構の研究炉・試験炉による研究用RIの生産は行われているが、大部分のRIは海外からの輸入により供給・販売されている。一部JRR-3、JRR-4、JMTRにより国産の医療用RI線源が供給されてきた。

一方、加速器によるRIの製造は、無担体で且つ短寿命のRIが得易いことから核医学分野の利用が多い。がんの診断と治療、血流検査、呼気

表１　RI生産に使用されている主な原子炉

原子炉名	国　名	出力(MW)	初臨界年
BR-2*	ベルギー	100	1961
HFR*	オランダ	45	1961
LVR-15*	チェコ	10	1957
MARIA*	ポーランド	30	1974
NRU*	カナダ	135	1957
OPAL*	オーストラリア	20	2006
OSIRIS*	フランス	70	1964
SAFARI-1*	南アフリカ	20	1965
RA-3*	アルゼンチン	5	1967
MURR	米国	10	1966
SM-3**	ロシア	100	1961(1992 改造)
RSG-GAS*	インドネシア	30	1986
CIRUS	インド	40	1960
HANARO	韓国	30	1995
CARR	中国	60	2010
JMTR	日本	50	1968
JRR-3M	日本	20	1990
JRR-4***	日本	3.5	1965

*濃縮ウランによる ^{99}Mo 生産の照射も実施
**超ウラン元素の生産など
*** 3.11 震災以降廃炉決定

表２　2012年度の主な非密封RIの供給量（放射性医薬品を除く）

核　種	MBq	核　種	MBq	核　種	MBq
^{3}H Total	230,198	^{59}Fe	298	^{99}Mo	148,000
^{14}C Total	77,391	^{60}Co	7	^{99m}Tc	99,561
^{18}F	29,970	^{63}Ni	28	^{109}Cd	10
^{22}Na	122	^{65}Zn	68	^{111}In	10,915
^{32}P Total	113,024	^{67}Ga	518	^{123}I	16,440
^{33}P Total	12,230	^{68}Ge	3,488	^{125}I Total	77,832
^{35}S Total	56,649	^{75}Se	226	^{131}I	17,432
^{45}Ca	1,222	^{85}Kr	211,650	^{134}Cs	41
^{51}Cr	31,943	^{85}Sr	420	^{137}Cs	251
^{54}Mn	108	^{86}Rb	592	^{177}Lu	370
^{55}Fe	336	^{89}Sr	458	^{201}Tl	666
^{57}Co	168	^{90}Y	20,572	その他	82

検査などやPET検査（F-18－FDGなど）にも多用されている。

国内のRI頒布状況は、（公益社団法人）日本アイソトープ協会発行Isotope News（2013年７月号）「2013年アイソトープ等流通統計」に2008～2012年度における変動が掲載されている。直近の2012年度について、主として研究開発などに利用されている非密封RI35核種の供給量を**表２**に記載した。工業利用を主とする密封アイソトープの供給量は^{60}Co、^{63}Ni、^{85}Kr、^{90}Sr、^{125}I、^{137}Cs、^{147}Pm、^{169}Yb、^{192}Ir、^{198}Au、^{241}Am、^{241}Am+Be、^{252}Cfなど19核種71PBq（279,245個）であり、治療用密封線源の供給量は^{60}Co、^{192}Ir、^{125}I、^{198}Au、^{137}Csの５核種1,682TBq（255,247個）である。一方、放射性医薬品の供給量はin vivoで^{18}F、^{67}Ga、^{81}Rb-^{81m}Kr、^{89}Sr、^{90}Y、^{99}Mo-^{99m}Tc、^{99m}Tc、^{111}In、^{125}I、^{123}Xe、^{201}Tlなど13核種509TBq、in vitroで^{59}Fe、^{125}Iの２核種22.8GBqであった。

２．RIの製造工程

原子炉や加速器で照射された試料（ターゲット）はRI製造施設で処理され頒布される。

線源RI及び精製RIで製造工程は異なり、**図３**の製造工程を経て出荷される。精製RIの製造では、溶解後沈殿法、蒸留法、溶媒抽出法、イオン交換樹脂・アルミナカラム処理法や昇華法などにより化学処理が行われる。放射能検定、化学（純度）検定、表面汚染検査、輸送物の放射線量率測定などがRI製造施設内規で厳重に管理され品目ごとに仕様品質を満足させている。製

図３　RI製造工程

薬会社へは医薬品原料としてのGMP基準のもとで出荷されるのが一般的である。また、^{3}H、^{14}C、^{32}P、^{35}Sなどの標識化合物の合成、供給も一部で実施されている。

通常の労働安全衛生管理などはもとより原子炉等規制法、放射線障害防止法、薬事法などのコンプライアンスが重視される。

３．RIの利用状況

RIや放射線発生装置を利用する事業所は国内で6,116ヵ所（2012年３月現在、放射線利用の現状と今後のあり方（改訂版）平成24年５月29日内閣府原子力政策担当室）であり、民間事業所、医療機関、研究機関、教育機関など幅広い分野で利用されている。ここでは主なRIの特性と生

成反応（製造法）と利用形態を纏めて**表３**に一覧表として示した。

医学利用、工業利用、農業利用、研究開発利用、教育利用、その他の利用の詳細については、別に述べられることを期待して割愛した。

４．今後の要望と展望

文科省では東日本大震災後、速やかに被害を受けた太平洋沿岸地域の放射性同位元素取扱い事業所（約230事業所）に対し安全確認を行ったところ、ただ１件土木工事における盛土の品質管理に使用されるステンレス容器密封小線源（^{60}Co2.59 MBq+^{252}Cf1.11MBq、平成21年７月28日時点）が収納容器ごと紛失したことが確認されたが、人と環境への影響は認められず、国内のRI使用・管理状況が十分であることが確認できたことは不幸中の幸いであった。今後も法令遵守の基で安全管理を徹底して使用することで放射線・RIの利用が一層進むことを願っている。

現在、RIの供給は、ほぼ100％海外からの輸入に頼っている。輸入ルートの多様化により一つの輸入先にトラブルが起っても別のルートで対応できることが必要である。輸送面を考慮しても国産化が望まれるところである。国内でRIの製造を継続し、安定した供給を維持するには、高経年化対策を済ませた研究炉、試験炉の再稼働と年間を通した安定稼動が必須で

表３　主なRI特性と製造法（生成反応）及び利用例

(1/3)

核種	半減期	主な放射線、エネルギー（MeV）	主な生成反応（製造法）	利用例
^{3}H	12.3年	β^-0.0186MeV	^{6}Li(n,α)^{3}H, ^{3}He(n,p)^{3}H	高速中性子発生用ターゲット、新薬開発用標識化物
^{14}C	5730年	β^-0.1561	^{14}N(n,p)^{14}C	新薬開発用標識化合物、年代測定、生物形態変化の研究、環境汚染研究
^{18}F	109.8分	β^+, γ0.511$^{\pm}$	^{18}O(p,n)^{18}F、サイクロトロン	脳血流測定、脳機能の診断、アルツハイマー診断
^{22}Na	2.609年	β^+, γ0.511^{+}, 1.27	^{23}Na(n,2n)^{22}Na, ^{24}Mg(d,α)^{22}Na	流速・流量関連研究、校正用線源
^{32}P	14.3日	β^-1.711	^{32}S(n,p)^{32}P, ^{31}P(n,γ)^{32}P	生体機能の研究、肥料・殺虫剤の挙動研究、洗剤開発、摩耗・腐食研究
^{33}P	25.3日	β^-0.249	^{33}S(n,p)^{33}P	DNAプローブ、農地施肥量の改善研究
^{35}S	87.5日	β^-0.167	^{35}Cl(n,p)^{35}S, ^{34}S(n,γ)^{35}S	薬物代謝、アミノ酸代謝の研究、触媒作用、潤滑油の開発
^{42}K	12.4時間	β^-3.525, γ1.525	^{41}K(n,γ)^{42}K, ^{42}Ar→β^-→^{42}K	細胞膜のイオン透過性の研究
^{45}Ca	164日	β^-0.257	^{44}Ca(n,γ)^{45}Ca	カルシュウムの取り込み研究、溶鉱炉内壁の摩耗検査
^{51}Cr	27.7日	EC、γ0.320	^{50}Cr(n,γ)^{51}Cr, ^{51}V(d,2n)^{51}Cr	赤血球検査、鉄鋼製品の均一性試験、摩耗試験、校正用線源
^{54}Mn	312.1日	EC、γ0.835	^{54}Fe(n,p)^{54}Mn	校正用線源
^{55}Fe	2.73年	EC、X0.0059Mn−K$_{\alpha}$	^{54}Fe(n,γ)^{55}Fe, ^{55}Mn(p,n)^{55}Fe	X線放出校正線源
^{59}Fe	44.50日	β^-0.465、γ1.099,1.292	^{58}Fe(n,γ)^{59}Fe	鉄動態検査、校正用線源
^{57}Co	271.7日	EC、γ0.0144,0.122	^{58}Ni(p,pn)^{57}Ni→β^+→^{57}Co, ^{60}Ni(p,α)^{57}Co	^{57}Fe核用の^{57}Coメスバウワー密封線源、校正用線源
^{60}Co	5.27年	β^-0.313, γ1.17,1.33	^{59}Co(n,γ)^{60}Co, ^{60m}Co→^{60}Co	がん治療用線源、害虫駆除用照射線源、滅菌用線源、素材重合用線源非破壊検査、厚さ計などの計測用線源
^{63}Ni	100.1年	β^-0.0669	^{62}Ni(n,γ)^{63}Ni	微量成分分析用ガスクロマトグラフ用線源
^{64}Cu	12.7時間	EC、γ1.346, 0.511$^{\pm}$	^{63}Cu(n,γ)^{64}Cu	生体内代謝研究、銅拡散による絶縁劣化の研究
^{67}Cu	61.8時間	β^-0.391, γ0.185	^{64}Ni(d,p)^{67}Cu	がん・腫瘍の検出、治療用放射性医薬品
^{65}Zn	244日	EC、γ1.116, 0.511^{+}	^{64}Zn(n,γ)^{65}Zn, ^{65}Cu(p,n)^{65}Zn	生体内代謝研究、エンジンオイル消費量の計測研究、校正用線源、拡散研究
^{68}Ge	270.8日	EC、X0.0093Ga−K$_{\alpha}$	^{69}Ga(p,2n)^{68}Ge	^{68}Gaジェネレータ、校正用線源
^{67}Ga	3.261日	EC、γ0.00933	^{68}Zn(p,2n)^{67}Ga	腫瘍イメージング
^{68}Ga	67.63分	EC、β^+、γ1.899	^{68}Ge→EC→^{68}Ga	白血球由来の悪性腫瘍イメージング、DOTA−ペプチドの標識放射性医薬品
^{72}Ga	14.1時間	β^-0.965,3.167、γ2.2	^{71}Ga(n,γ)^{72}Ga	骨腫瘍検査
^{75}Se	120日	EC、γ0.136,0.265	^{74}Se(n,γ)^{75}Se	膵臓スキャニング、校正用線源、非破壊検査用線源

(2/3)

^{76}As	1.10日	β^-2.962, γ0.559	^{75}As(n,γ)^{76}As	金属焼き鈍し時の均一性試験、半導体の研究
^{82}Br	1.47日	β^-0.444,γ0.554,0.777	^{81}Br(n,γ)^{82}Br, ^{77}Se(p,n)^{82}Br	煙草用殺菌剤の性能試験、混合セメントの均一性試験
^{83m}Kr	1.83時間	IT、X0.0094,0.0126Kr−K$_{\alpha}$	^{83}Rb→EC→^{83m}Kr	液体Ar,Ne,Xeの校正、呼気検査
^{85}Kr	10.76年	β^-0.687,γ0.514	U(n,f)^{85}Kr, ^{85m}Kr→β^-→^{85}Kr	厚さ計など応用計測β線源、校正用線源、蛍光灯グロー放電管
^{86}Rb	18.7日	β^-1.774, γ1.077	^{85}Rb(n,γ)^{86}Rb	地下水脈調査
^{85}Sr	64.84日	EC、γ0.524	^{84}Sr(n,γ)^{85}Sr, ^{85}Rb(d,2n)^{85}Sr	土壌含水量計測、研究開発、
^{89}Sr	50.5日	β^-1.495	^{88}Sr(n,γ)^{89}Sr, U(n,f)^{89}Sr	骨がんの疼痛軽減
^{90}Sr	28.8年	β^-0.546	U(n,f)^{90}Sr	原子力電池、^{90}Yのジェネレータ、応用計測、厚さ計β線源（ゴム、金属箔）
^{90}Y	2.67日	β^-2.280	^{89}Y(n,γ)^{90}Y, ^{90}Sr→β^-→^{90}Y	悪性腫瘍の治療用医薬品、応用計測β線源
^{99}Mo	66時間	β^-1.215, γ0.739	U(n,f)^{99}Mo, ^{98}Mo(n,γ)^{99}Mo	がん診断用^{99m}Tcの親核種、^{99m}Tcジェネレータ
^{99m}Tc	61日	EC、γ0.203 0.582	^{93}Nb(α,2n)^{95m}Tc, ^{94}Mo(p,2n)^{95m}Tc	テクネチウム化学の研究、環境中の^{99}Tcの分析
^{99m}Tc	6.08時間	IT、γ0.141	^{99}Mo→β^-→^{99m}Tc, U(n,f)^{99m}Tc	がん診断用医薬品
^{110m}Ag	250日	β^-0.0835, γ0.658	^{109}Ag(n,γ)^{110m}Ag	金属表面の検査、銀拡散による銀接点の絶縁破壊の研究、校正用線源
^{109}Cd	462.6日	EC、X0.0222Ag−K$_{\alpha}$,γ0.088	^{109}Ag(d,2n)^{109}Cd, ^{109}In→EC,β^+→^{109}Cd	植物代謝研究
^{111}In	2.805日	EC、X0.0232Cd−K$_{\alpha}$,γ0.171	^{111}Cd(p,n)^{111}In, ^{105}Ag(α,2n)^{111}In	標識抗体により体内分布測定
^{119m}Sn	293.1日	IT、X0.0253Sn−K$_{\alpha}$,γ0.159	^{118}Sn(n,γ)^{119m}Sn, ^{119}In→β^-→^{119m}Sn	^{119}Sn核用の^{119m}Snメスバウアー密封線源
^{124}Sb	60.2日	β^-0.611, γ0.603	^{123}Sb(n,γ)^{124}Sb	オイルフィルターの性能試験、校正用線源
^{123}I	13.3時間	EC、γ0.159,0.529	^{124}Te(p,2n)^{123}I, ^{124}Xe(p,2n)^{123}Cs→^{123}I	甲状腺検査、パーキンソン病、褐色細胞腫、神経芽細胞腫の検査
^{125}I	59.4日	EC、X0.0275Te−K$_{\alpha}$	^{124}Xe(n,γ)^{125}Xe→EC,β^+→^{125}I	前立腺がん治療用線源、生物動態研究
^{131}I	8.04日	β^-0.606, γ0.364	^{130}Te(n,γ)^{131}Te→β^-→^{131}I,U(n,f)	甲状腺がん、機能亢進症、心不全などの治療
^{133}Xe	5.243日	β^-0.346, γ0.081	U(n,f)^{133}Xe	呼気検査、核分裂反応確認
^{134}Cs	2.06年	β^-0.658, γ0.605,0.796	^{133}(n,γ)^{134}Cs, U(n,f)^{134}Cs	校正用線源、焼却炉セラミックフイルターの効率測定
^{137}Cs	30.0年	β^-0.514, γ0.662	U(n,f)^{137}Cs	校正用線源、血液照射用線源、がん治療用線源、計測機器線源
^{133}Ba	10.54年	EC、γ0.356	^{132}Ba(n,γ)^{133}Ba	校正用線源
^{139}Ce	138日	EC、γ0.166	^{136}Ba(α,n)^{139}Ce	校正用線源、焼却炉セラミックフイルターの効率測定
^{140}La	1.68日	β^-1.35, γ0.487,1.596	^{139}La(n,γ)^{140}La, ^{140}Ba→β^-→^{140}La	ロータリーキルン内鉄鉱石移動速度の測定、砂の移動速度追跡
^{144}Ce	284.9日	β^-0.319,γ0.0574,0.293	U(n,f)^{144}Ce	校正用線源

(3/3)

^{152}Eu	13.5年	EC、β^-0.695、γ1.408	^{151}Eu(n,γ)^{152}Eu	校正用線源
^{153}Gd	242日	EC、X0.0415Eu-K$_\alpha$、γ0.0974	^{152}Gd(n,γ)^{153}Gd	厚さ計線源、骨粗しょう症の診断用線源
^{147}Pm	2.623年	β^-0.224	^{147}Nd→β^-→^{147}Pm、U(n,f)^{147}Pm	応用計測β線源、校正用線源
^{153}Sm	1.95日	β^-0.705、γ0.103	^{152}Sm(n,γ)^{153}Sm	膵癌検出用医薬品の開発研究
^{165}Ho	26.8時間	β^-1.773,1.854、γ0.0806	^{165}Ho(n,γ)^{166}Ho	皮膚がん治療
^{166m}Ho	1200年	β^-0.0729、γ0.184,0.810	^{165}Ho(n,γ)^{166m}Ho	校正用線源
^{169}Yb	32.0日	EC、X0.050Tm-K$_\alpha$、γ0.0631	^{168}Yb(n,γ)^{169}Yb	配管の非破壊検査用線源
^{170}Tm	129日	β^-0.0964、γ0.0667	^{169}Tm(n,γ)^{170}Tm	夜光塗料、厚さ計線源
^{177}Lu	6.73日	β^-0.498、γ0.208	^{176}Lu(n,γ)^{177}Lu、^{177}Yb→β^-→^{177}Lu	がんの診断、治療薬の開発研究
^{185}W	75.1日	β^-0.433、γ0.125	^{184}W(n,γ)^{185}W	機械工具の疲労と腐食の研究、フィラメントの蒸発・劣化の研究
^{188}W	69.4日	β^-0.349、γ0.227	^{187}W(n,γ)^{188}W	がん診断・治療用^{188}Reの親核種、^{188}Reジェネレータ
^{186}Re	3.78日	EC、β^-1.070、γ0.137	^{185}Re(n,γ)^{186}Re	がんの診断、治療薬の開発研究
^{188}Re	17.0時間	β^-1.965,2.12、γ0.155	^{187}Re(n,γ)^{188}Re、^{188}W→β^-→^{188}Re	がんの診断、治療薬の開発研究
^{192}Ir	73.8日	β^-1.702、γ0.317,0.468	^{191}Ir(n,γ)^{192}Ir	がん治療用線源、溶接部非破壊検査用線源、校正用線源
^{197}Hg	2.67日	EC、γ0.0774,0.191,0.269	^{197m}Hg→IT→^{197}Hg、^{197}Au(d,2n)^{197}Hg	脳スキャニング、水銀電解槽内の水銀インベントリ
^{198}Au	2.69日	β^-0.961、γ0.412	^{197}Au(n,γ)^{198}Au	がん治療用線源、肝腫瘍検査、中性子モニター
^{201}Tl	72.9時間	EC、γ0.135,0.167	^{203}Tl(p,3n)^{201}Pb→EC→^{201}Tl	心筋血流、脳疾患検査用放射性医薬品
^{204}Tl	3.78年	EC、β^-0.764,X0.070Hg-K$_\alpha$	^{203}Tl(n,γ)^{204}Tl	厚さ計線源、熱源線源
^{210}Po	138.4日	α5.304、γ0.803	^{210}Bi→β^-→^{210}Po	静電気除去、衛星用原子力電池熱源
^{226}Ra	1600年	α4.784、γ0.186	^{230}Th→α→^{226}Ra	夜光塗料、がん治療用線源として以前利用
^{236}Pu	2.87日	α5.768、γ0.109	^{235}U(α,3n)^{236}Pu、^{235}Np→	環境試料分析用スパイク
^{237}Pu	45.3日	EC、α5.36、γ0.0595	^{235}U(α,2n)^{237}Pu、241Cm→	プルトニウム化学の研究
^{241}Am	432.7年	α、X0.01187Np-L$_\alpha$、γ0.059	^{239}Pu(n,γ)^{240}Pu(n,γ)^{241}Pu→β^-→^{241}Am	中性子校正用線源、水分計、液面計、厚さ計
^{244}Cm	18.1年	α、X0.01212Pu-L$_\alpha$	^{243}Am(n,γ)^{244}Am→β^-→^{244}Cm	α線校正用線源、蛍光X線分析装置線源
^{252}Cf	2.645年	α6.118、SF	^{238}U(+xn)、^{239}Pu(+xn)	中性子水分計、中性子校正用線源、

＊：校正用線源：放射線測定器、ガンマ線スペクトロメータなどの校正線源

出典：①日本原子力研究所「放射線利用の研究の現状」（放射線利用とラジオアイソトープの製造・利用）、②アイソトープ協会「アイソトープ手帳」、③富永洋、五味邦博「RI線源の利用（放射線利用技術データベース）

表４　JMTR再稼働後のRI製造に関する要望（案）

要望されている核種		半減期	用 途	ターゲット	ターゲット組成・形状	生成反応	必要放射能量Bq(Ci)
従来のRI製品	Ir-192（工業用）	73.83d	非破壊検査	Ir-191	2.0φ×2.0mmIrペレット	(n,γ)	370GBq（10Ci）/個（使用時）
	Co-60（小線源）	5.269y	計測機器	Co-59	0.46φ×10mmニードル、0.91φ×15mmニードル	(n,γ)	37MBq（1mCi）、185MBq(5mCi)、370MBq（10mCi）、740MBq（20mCi）
	Yb-169	32.00d	非破壊検査	Yb-168	1.0φ×2.0mmY_2O_3ペレット	(n,γ)	370GBq（10Ci）/個（使用時）
	Au-198(*)	2.6937d	舌癌治療	Au-197	0.8φ×2.5mmAuグレイン	(n,γ)	185MBq(5mCi)/個
新たなRI製品｜高度化	Co-60（大線源）	5.269y	滅菌用線源	Co-59	スラグ6φ×25mm 又は、ディスク 7φ×1.1mm 密封カプセル寸法（11.1φ×451.5mm）	(n,γ)	296～480TBq(8,000～13,000Ci)/本
	Ir-192（ウエハー）	73.83d	非破壊検査	Ir-191	1φ×0.5tmmウエハー×2枚	(n,γ)	370～1,110Gq(10～30Ci)/個
	I-125（シード線源）	59.4d	前立腺がん治療	Xe-124	^{124}Xeガスループ又は密封	(n,γ) β^+→	15MBq/個
	Sr-89	50.53d	疼痛軽減用医薬品	Sr-88	酸化ストロンチウム（SrO）	(n,γ)	
	Se-75	119.8d	非破壊検査	Se-74	3Φ×3mmシリンダー（Se,Ti,V金属化合物）	(n,γ)	3TBq(80Ci)/個
国産化開発中RI製品	Mo-99/Tc-99m	65.95h/6.01h	がん診断用医薬品	Mo-98	MoO_3ペレット	(n,γ) B^-→	Mo-99:37TBq（1000Ci）/週 Tc-99m:～11TBq(300Ci)/日
	W-188/Re-188, Re-186, Lu-177など	69.4d/17h, 2.72d, 6.73d	がん治療用医薬品	W-186 Re-185 Yb-176	WO_3 粉末 Re 金属粉末 Yb_2O_3 粉末	(n,γ)(n,γ) B^-→、(n,γ) B^-→	>37TBq(>1Ci) 高比放射能、CFが望ましい（Sm-153, Ho-166等）

著者プロフィール

1938年山口県生まれ、岩国高校から東海大学原子力専攻を卒業後、1962年に日本原子力研究所に入所後、一貫して^{24}Na,^{42}K,^{64}Cu,^{32}P,^{99}Mo（核分裂法及び、中性子放射化法）などのアイソトープ製造技術開発に従事した。途中、３年間本部安全管理室に異動したが1998年にアイソトープ部長を退職後、㈱千代田テクノル大洗研究所長などに従事した。日本原子力学会、日本放射化学会、アイソトープ協会などで活動し、第1種放射線取扱主任者、核燃料取扱主任者の選任業務とともに研究者、技術者の支援を通してアイソトープ製造技術の情報を提供している。趣味は、ハイキング・登山の山歩きと久慈川河口（日立港）の海釣りで、OBや孫と楽しんでいる。

ある。再稼働が予定されているJMTRでのRI製造の要望（案）を**表４**に示す。更に、加速器を併用して^{99}Mo/^{99m}Tcなどが年間を通して安定供給できることが望まれる。輸入の困難な医療用短寿命RIなどは、加速器による院内自家生産が普及することと治療計画、治療機器の整備、充実も必要である。国産化の中心的組織と製造体制を立ち上げ、研究炉・試験炉、大型加速器、製造施設を整備するに当たっては、海外の例からも初期投資は国や公的機関からの支援が得られることが望ましい。RIの製造には、関係法令の遵守のもとで放射線・放射能、薬事面で優れた技術者の養成、徹底した品質管理に基づく生産体制、安全輸送が必須である。さらに、新規開発RIなどについては環境に配慮した、放射性廃棄物の処理・処分の道筋をも見出しておくことが必要である。

先ずは、自国で使用するRIの需要量の20～30%を安定して製造・供給できれば、私たちの生活は医療、理工学、農業分野などを通してより豊かとなり、その技術をもって海外展開にも貢献できるだろう。

食品照射を利用して貧困の削減を

元・原子力委員　町　　末　男

収穫後の食糧の損失を減らす

世界の人口はすでに70億を超え、まだ増え続けている。世界には食糧不足のため慢性的栄養失調の人が９億人もいる。食糧の確保は貧困削減に向けて最も大事である。

一方、日本ではあまり知られていないが、開発途上国の農業では、多くの手間をかけて折角収穫したものの40％が消費者の食べ物として利用される前に、腐敗、虫害やカビなどによって失われているのである。これは農家にとっても世界の人類にとっても、大きな損失である。この厳しい現実は私がここ３年ほどの間にタンザニア、ガーナ、ケニアなどアフリカの国々を訪問した際に体験したものである。

食品照射は農産物の腐敗の防止、殺虫、カビの殺菌、発芽の遅延効果によって、貯蔵用倉庫の整備と組み合わせることで、収穫後の食糧の損失を効果的に減らす事が出来る。しかし、食品の照射には施設が必要で、そのために数億円の投資がいる。これが途上国には大きな負担である。日本の国際協力の手が差し伸べられることが期待される。

照射で玉葱の発芽を遅らす事によって貯蔵期間を長くすることが出来る。右が照射したもの。
（出典：IAEAパンフ）

日本は北海道での「じゃがいも」の照射で世界最初に食品照射の実用化を実現したという実績がある。照射で発芽を遅らせ、貯蔵可能期間を約３か月から９か月に延ばす事が出来、発芽による損失を減らし、端境期でのじゃがいもの価格を下げることが出来る。同じ目的での利用がニンニク、玉葱（写真）などで行われている。

照射食品の安全性は多くの研究に基づいて、世界保健機構（WHO）、国際原子力機関（IAEA）、国連食糧農業機構（FAO）の３国連機関が合同の報告書で確認しているし、国際食品安全規格（Codex Alimentarius）でも安全が認められている。

より安全な食品

食品を汚染し食中毒の原因となるサルモネラ、E-Coli菌などの病原菌を照射によって殺菌し、より安全な食品を提供する事もアメリカをはじめ多くの国で利用されている。タイでは発酵ソーセージは人気があるが、食中毒を起こしやすいので、それを防ぐために、照射で衛生化した発酵ソーセージが良く売れている。アメリカではハンバーグ肉のサルモネラ菌などの除去に照射が利用されているほか、免疫機能が弱くなっている病院の患者を守るために、食事を照射し無菌化している。

途上国からの食品輸出を増やす

マンゴ、パパイヤなど熱帯・亜熱帯の多くの途上国で採れる果物は重要な輸出品目であるが、地中海ミバエなどの害虫の卵で汚染されているので、そのままでは輸出出来ない。以前は、臭化メチルによるガス燻蒸で殺虫していたが、このガスがオゾン層の破壊の原因になる事から使用禁止になっている。そこで、照射による果物・野菜の殺虫が各国で広がっている。また、ベトナムでは輸出する前の冷凍エビに照射して有害菌をなくしている。

この様に食品照射は世界で利用されており、推定では約５年前で55万トンの照射食品が利用されている。これからは特に途上国における収穫後損失を減らすためにこの技術が一層利用されるべきである。（2014年３月13日稿）

大貫台GAS※1システムの紹介
～第二世代のガラスバッジ～

ラディエーションモニタリングセンター　野呂瀬富也

GAS※1：Glass badge Automatic Service

1．はじめに

日本における職業人を対象とした個人線量測定サービスは、フィルムバッジを用いて1954年から開始されました。この測定サービスは、当時の千代田レントゲン株式会社のオーナーである小野鎮馬氏の献身的な支援によって開始されたと伺っています。そして、このフィルムバッジは、その後45年間の長きに亘り代表的な個人線量測定器として利用されました。

1990年代後半になると、社会に急激なデジタル化の波が押し寄せ、写真フィルムからデジタル画像の時代に変わることになります。個人線量測定器についても、フィルムバッジの課題を克服し、より精度が良くなったガラス線量計が開発されました。弊社は、このガラス線量計の技術を採用し、2000年にフィルムバッジからガラスバッジに切り替えた測定サービスを開始しました。2014年４月には、ガラスバッジによる累計4,000万個の測定サービスの実績を積み重ねることができました。

そして、この度、更に進化した第二世代のガラスバッジを開発するとともに、茨城県大洗町大貫台に新測定センターを建設し、新たな測定サービスを開始しました。

以下に、大貫台ラディエーションモニタリングセンターの概略をご紹介させていただきます。

2．大貫台ラディエーションモニタリングセンター（以下、新測定センター）

新測定センターの所在地は、茨城県の大洗町大貫台です。JR線水戸駅から鹿島臨海鉄道に乗換え約15分で大洗駅に着きます。大洗駅から車で約５分（２km）ほど離れた国道51号線沿いに大貫台があります。

新測定センターでは、個人情報を取り扱うためにセキュリティ区域を設けており、事前に登録し許可された者以外は入退域できなくなっております。

大貫台ラディエーションモニタリングセンター外観

入退管理エリア

3．ガラスバッジの測定システム「GASシステム」のご紹介

従来のシステムに新たな機能として、ガラスバッジやお届票、返信封筒などの梱包を自動化した装置を導入いたしました。

お届けする荷姿も封筒に加え、新たにピロー包装（枕状の包装）を採用しました。

大洗の特産物である鮟鱇をモチーフにデザインしたピロー包装

4．ガラスバッジの測定およびガラスバッジの出荷

4－1　測定依頼いただいたガラスバッジの流れ

①汚染の無い環境を作るため検査を実施

屋外から測定センターに持ち込まれたすべての荷物について、汚染検査を実施しています。センター内に汚染物を持ち込まないよう徹底した管理を行っています。

②ガラスバッジの受付開封

汚染検査が終了した荷物を開封します。ガラスバッジの返却状況を確認し、モニタリングサービス専用システムに必要事項を登録します。封筒およびGBキャリーからガラスバッジを取り出し、専用トレイに移し替えます。

③フィルム剥離装置

ガラスバッジの透明フィルムを剥がし、ホル

測定センター受付から測定報告書の出荷までのイメージ図

ダ部分とクリップを分離し、ケースをコンテナに収納する装置です。

④ホルダ分離装置

ホルダからガラスプレート、CR-39（WNP）の取り出しを行う装置です。

⑤プレヒート装置（熱処理炉）

ガラスプレートの安定した測定値を得るため、測定前に100℃の熱処理を行う装置です。

ガラスプレートを200個セットしたコンテナを５ケースずつ入れて熱処理をします。

⑥オートリーダー（蛍光量読取装置）

ガラスプレートをレーザーで刺激し蛍光量を測定する装置です。

１枚当たり各フイルターの５つのポイントを測定します。

⑦線量チェック
　ガラスプレートを測定した後、線量計算を行います。技術者が確認し、線量を確定します。

⑧報告書印刷
　測定したデータを基に算定処理を行います。６種類の報告書を作成し、お客様へ報告書を発送いたします。

４－２　ガラスバッジの出荷

①ホルダコンテナ、ガラスプレートコンテナの入出庫を管理する自動倉庫です。

②ガラスプレート詰め替装置
　コンテナに収納されたガラスプレートをアニール用のセラミック製のトレイに詰め替えます。
　アニール後は再度コンテナに戻します。

①アニール装置（熱処理炉）
　ガラスプレートに蓄積された蛍光量を初期化し再利用するため、360℃の熱処理を行います。

②オートリーダーにおいてPD測定（出荷前の測定）を行います。

③ホルダ組立装置
　ガラスプレートおよびWNPをケースに装填します。

④ガラスバッジ組立装置

ガラスバッジを組み立てて、事業所毎に自動梱包を行う装置です。

・コンテナから取り出されたガラスプレートにひとつずつシュリンク包装を行います。

・バラバラになったクリップを同一方向に並べてガラスバッジに組み込みます。

・お届票・返信封筒・FBNewsなど梱包するものを事業所毎に丁合します。

・事業所毎に丁合されたものをピロー包装します。

5．おわりに

誌面の都合上、新測定センターの一部のみのご紹介となってしまいましたが、ご要望がございましたら測定センターを見学いただくことも可能です。その際は、最寄りの営業所へご連絡ください。お待ちしております。

大洗町は、大洗町が舞台のアニメ「ガールズ＆パンツァー」の街として多くの方に知っていただくことになりました。ご興味のある方がいらっしゃいましたら、是非、大洗町に遊びにいらしてください。

この第二世代のガラスバッジを今後とも末永くご利用くださいますようお願い申しあげます。

【お詫びと訂正】

FBNews No.448（2014年４月号）におきまして一部誤りがございましたので下記の通りお詫びして訂正いたします。

「整合性のある原子力システム」（藤家洋一氏）
10ページ　左段　図４（正）

図４　究極の核燃料サイクル：究極の目標への歩み

新刊紹介

土壌汚染－フクシマの放射性物質のゆくえ

著　者　中西友子
発売元　NHKブックス

本書は福島原発事故で環境中に放出された放射性物質、特に半減期の長い放射性セシウムが環境中でどのような状態にあり、どのように移行しているかを、東大農学部の研究室を挙げての広汎な調査研究への取り組みにより明らかにした非常に貴重な本である。一般の人にも分かりやすくまとめられていて、是非一読されるようお薦めしたい。内容は、

第１章　土壌と放射能汚染
第２章　汚染の実態
第３章　放射性物質は循環するか
第４章　これからの除染はどうあるべきか

からなっていて、第１章では土壌とは何か、土壌の重要性について分かりやすく説明され、セシウムは土壌にしっかり吸着されて動かなくなり、植物中にも移行しなくなっていることが、放射能とその分析法についての一般向けの解説とともに述べられている。土壌の汚染は表面数センチのところにとどまり、雨が降ってもほとんど動かないこと、福島県の大部分を占める森林から、雨や川の水により流れ出る放射性セシウムはほとんどないことが測定により明らかにされている。これらの結果は、文部科学省が主催して、大学や研究機関などと協力して行われた大規模な環境放射能モニタリングの結果とも一致している。

第２章では、農学部という専門性を生かして、農作物の汚染の仕組み、コメの汚染、果樹の汚染、家畜の汚染、野生動物の汚染、魚の汚染について、その汚染経路や移行係数について、様々な調査研究の取り組みと結果についてまとめられている。例えば、土壌中にカリウム肥料が充分ある場合には、イネへのセシウムの取り込みが少なくなること、また取り込んだとしても穂には行かず、葉にほとんど移行すること、果樹では枝や幹の外側が主に汚染し、根からの吸収は非常に少なく、果実への移行も少ないこと、家畜のウシに取り込まれた放射性セシウムも体外に排出され、汚染されていない配合飼料を与えると、牛乳中の放射性セシウムの濃度も急速に低くなること、など幅広い綿密な観測による貴重な結果が明らかにされている。これらの系統的な研究結果は放射性セシウムの生体系への移行を明らかにする極めて貴重なものであり、著者らは既に、これらの成果をまとめた英文の Agricultural Implications of the Fukushima Nuclear Accident という本を、Springerから出版されている。

第３章では、第２章での成果をもとに、森林での放射性セシウムの動き、生物系の循環、キノコに蓄積する放射能について考察されていて、食物連鎖の過程での放射性セシウムの生物濃縮は起きていないらしいこと、ただ、特定のキノコでは濃縮が起きていることが述べられている。さらに、かつて1960年代の大気圏核実験で大量に空中にまき散らされた放射性物質の地球環境中での汚染の時間的変化の状況についても比較して説明されている。第４章では、これからの特に農地土壌の除染の具体的方法として、道路などで行われている単に汚染土壌を物理的や化学的に取り除く方法ではなく、農作物を育てる微生物に富んだ豊かな土壌を壊さない手法が重要であり、そのための除染方法として、天地返しと鋤き込みによる放射能の低減、表土の除去や表層を水で洗い流す「までい工法」などが紹介されている。最後に食品の安全についても、検査のやり方、意識調査、安全な食品を作る取り組み例について述べられている。

ここに書かれた調査研究は現在も進行中であり、今後また新しい成果を発表されることを期待している。

（中村　尚司）

第57回放射線安全技術講習会開催要項

1．期　　日　第一種コース　平成26年６月９日（月）～６月14日（土）の６日間
第二種コース　平成26年６月23日（月）～６月27日（金）の５日間

2．会　　場　東京都文京区本郷３－39－15　医科器械会館

3．参加対象者　第一種又は第二種放射線取扱主任者の国家試験受験を予定している方

4．定員及び受講料

定　　員	受講料（消費税込み）
第一種コース　50名	63,800円
第二種コース　50名	51,500円

5．申込締切　第一種コース　平成26年６月２日 ／ 第二種コース　平成26年６月16日

6．申 込 先　公益社団法人 日本保安用品協会事務局
〒113－0034　東京都文京区湯島２－31－15　和光湯島ビル５階
TEL 03－5804－3125　FAX 03－5804－3126　担当　田辺／中西
e-mail：hoan@jsaa.or.jp　　URL：http://www.jsaa.or.jp

7．申込用紙の取得　**申込書はホームページよりダウンロード若しくは、電話による連絡にて取得願います。**

8．申込方法　郵送またはFAX（電話による申込みは不可とさせて頂いております）で申込み願います。

9．そ の 他　お申込み、お支払を確認後、「受講券」をお送りします。なお、受講料のお支払を振込でされる場合には、その控えを申込書と一緒にお送りください。

ご 案 内

2014年製薬放射線研修会

（第16回製薬放射線コンファレンス総会）

会　期：平成26年６月26日（木）～６月27日（金）
会　場：つくば国際会議場（茨城県つくば市竹園２丁目20番３号）
主　催：製薬放射線コンファレンス

◆１日目［６月26日（木）11：00～17：00］
・総会「PRC活動報告等」
・研修会
講演１　「最近の放射線規制行政の動向について（仮題）」
原子力規制庁　放射線対策・保障措置課　放射線規制室
講演２　「がん放射線治療に有効な放射線効果修飾剤（放射線防護剤および放射線増感剤）の開発」
関根（鈴木）絵美子氏　（独）放射線医学総合研究所
講演３　「RI廃棄物の現状と課題」池谷元宏氏　（公社）日本アイソトープ協会
・交流会　（17：00～19：00）

◆２日目［６月27日（金）９：00～16：00］
・見学会　（共）高エネルギー加速器研究機構（KEK）つくばキャンパス
（独）宇宙航空研究開発機構（JAXA）筑波宇宙センター

【参 加 費】　事前登録：研修会のみ 5,000円　　研修会＋見学会※ 6,000円
当日受付：6,000円　　［交流会］5,000円
※見学会参加は事前登録が必要です

【参加申込】　下記ウェブサイト内の研修会参加申込フォームからお申込下さい。
製薬放射線コンファレンスホームページhttp://www.web-prc.com/

サービス部門からのお願い

新型ガラスバッジのシュリンク包装について

平素、弊社のモニタリングサービスをご利用くださいまして、誠にありがとうございます。

新型ガラスバッジをご使用のお客様にご使用上の留意点などをご案内申しあげます。

新型ガラスバッジは一つ一つをシュリンク包装（透明ビニール）しており、ガラスバッジラベルと一体となっております。その為、ご使用の際にはビニールを剥がさないようにお願いいたします。

★もし、ご使用中にビニールが剥がれてしまったら…

セロハンテープなどで留めてください。測定等に影響はございませんので、そのままご使用期間終了日までご使用ください。

★もし、ご使用中にラベルが剥がれてしまったら…

ガラスバッジの平らな面にシールなどでお名前を貼り付けてご使用ください。
（ラベルが剥がれてもご使用者様を特定し、測定・報告することは可能です）

お客様のご理解とご協力をよろしくお願い申しあげます。

編集後記

●この編集後記を書いているときに3/11を迎え、あの東日本大震災より丸3年がたちました。各地では追悼式が行われ、テレビでは月日の経過とともに被災地の人々に対する思いを風化させないよう3年前や、被災地の現状に関する報道がされておりました。測定センターでも東日本大震災が発生した午後2時46分に黙とうをささげ、犠牲者のご冥福をお祈りし、被災地の一刻も早い復興を願いました。

●今月の巻頭記事は海上技術安全研究所海洋リスク評価系長の小田野直光様に「海底土中の放射性物質濃度の面的な把握に向けて」というテーマでご執筆いただきました。2月下旬には汚染水が100トン漏れたニュースもあり、海水及び海底土中の放射性物質分布を把握するための海中ロボットの開発がスタートされており、今後に期待しております。

●次に、ラジオアイソトープの利用は皆さんご存知の通り多岐にわたっておりますが、弊社アドバイザーの山林尚道より原子炉等を利用したラジオアイソトープの製造や製造工程について説明させていただきました。ラジオアイソトープ（RI）に関する記事を今後5回のシリーズで掲載しますのでご期待ください。

●最後に本誌5月号が皆様のお手元に届くころには、新型ガラスバッジ（一部のお客様を除き）に替わっていることと思います。ガラスバッジと共に測定センターも新しく移転いたしましたので、新測定センターのご紹介をさせていただきました。茨城県にお越しの際は大洗町まで足を延ばしていただき、是非とも新しくなった測定センターをご見学ください。

（木名瀬一美）

FBNews No.449

発行日／平成26年5月1日
発行人／山口和彦
編集委員／佐藤典仁　安田豊　中村尚司　金子正人　加藤和明　大登邦充　加藤毅彦
木名瀬一美　篠崎和佳子　土屋敦史　林直樹　福田光道　藤崎三郎　丸山百合子
発行所／株式会社千代田テクノル　線量計測事業本部
所在地／〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12　千代田御茶の水ビル4階
電話／03-3816-5210　FAX／03-5803-4890
http://www.c-technol.co.jp
印刷／株式会社テクノルサポートシステム

ー禁無断転載ー　定価400円（本体371円）