原 著

玄米試料を用いた放射能測定の技能試験

海野泰裕^{*,†}, 柚木 彰^{*}, 三浦 勉^{*}, 濱松潮香^{**}, 八戸真弓^{**}, 等々力節子^{**}

^{*}産業技術総合研究所分析計測標準研究部門

305-8568 茨城県つくば市梅園1-1-1

^{**}農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所

305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

[†]y.unno@aist.go.jp

2015年7月6日 受付

2016年1月8日 受理

¹³⁴Cs及び¹³⁷Cs放射能を測定するγ線スペクトロメトリについて、2013年5月から6月に技能試験を実施した。技能試験の参照値は国内外の校正機関により検証され、その妥当性が示された。技能試験の参加者から報告された値の参照値からのばらつきが全体としては小さいことが示された。参照値からの差が大きい報告値に対しては、測定内容の見直しを促すシグナルが発せられた。今回の技能試験により、参加者全体の技能レベルが明らかになった。

Key Words: Proficiency test, Radioactivity measurement, Validation, International comparison, Caesium 134, Caesium 137

1. 序 論

Ge半導体検出器を用いたγ線スペクトロメトリによる放射能測定は、試料内に含まれる放射能を高い精度で測定できる手法である。検出器と共に市販されているソフトウェアを用いれば、十分な訓練を受けた要員でなくても放射能を測定できるように思われる。しかし、実際には、誤った測定結果が報告されることがある。

誤りの原因はさまざまである。γ線スペクトロメトリにおいては、校正時と同じ配置で測定して得られた光電ピークの正味計数率を、計数効率と対象核種のγ線放出率で除し、必要な補正係数を乗じることで放射能が求められる。放射能濃度の場合には、さらに試料質量で除す。この一連の操作や計算に用いられる値に間違いがあると、誤った結果を導き出してしまう。

また、実際の測定装置は、Ge半導体検出器とその検出器からの信号を処理する機器で構成されている。使用中に、これらの機器のいずれ

かに大きな変動や異常があった場合にも、結果に影響を及ぼす。

これらのソフト面、ハード面の異常について、測定者自らが自身の数値処理に間違いがないか、あるいは、機器が正常に動作しているかをつねに注意することで、多くの場合、誤った結果を回避できる。しかし、他からの指摘がなければ、測定者の思い込んでいる場合や、チェックが届かずに間違いや機器の異常には気づかない場合がある。正しい測定結果を出す能力を維持するための不断の取り組みである「測定の品質管理」の一環として、外部からのチェックが受けられる技能試験は有効な手段である。

一方で、2011年3月に東京電力福島第一原子力発電所で事故（1F事故）が発生して以来、¹³⁴Cs、¹³⁷Cs放射能を測定したいという要求が一気に増加した。それに応じて、放射能測定を実施する事業者が増え、新たに多くの要員が放射能測定に従事することになった。事故以前か

らの測定者に、この新たな測定者を対象に含めて、測定依頼者から求められている信頼の要求に応えるに十分な技能があるかどうかを明らかにすることが求められた。

技能試験では、測定者間での測定結果の比較により、使用する機器の能力を含めた測定者の技能を評価できる。技能試験に参加する過程での測定作業の見直しや参加した後に開示される試験報告書を基に、参加者は自らの測定の妥当性を確認できる。それと同時に、その参加者の能力は客観的に示され、参加者全体の技能レベルが明らかにされる。

本研究では、放射能測定における測定者個々の妥当性を確認する機会としつつ、測定者全体の技能レベルを明らかにすることを目的として、主催者として技能試験を実施した。

技能試験を実施するために、参加者が従うルールを定めるプロトコルを作成し、このプロトコルに沿って技能試験を実施した。また、技能試験には、参加者が使用する試料が必要である。筆者らは、すでに認証標準物質の開発に成功し、技能試験用試料として適した十分に均質で安定した玄米試料を提供する技術を得ている^{1,2)}。

本研究に用いられた試料は主催者により認証標準物質と同じ手法により調製された。また、試料へ付された参照値は¹³⁴Csと¹³⁷Csの合計で132 Bq kg⁻¹であり、一般食品の基準値に近い範囲で測定技能を評価した。技能試験と同じ試料を参照値検証用の試料として提供し、参照値に対して国内外からの妥当性の根拠を得た。

2. 技能試験の計画

2.1 過去に実施された技能試験

¹³⁴Csや¹³⁷Csのように γ 線を放出する核種を対象とした技能試験は、これまでには、継続的に実施されている国際原子力機関 (International Atomic Energy Agency, IAEA) による試験 (近年では³⁾)、1989～1994年に英国 National

Physical Laboratory (NPL) により4回実施された試験⁴⁾、2008年にベルギー Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM) により実施された試験⁵⁾ などがある。これらのいずれの試験においても、主催者により試料が提供された。その試料は、放射性物質が添加された物質、あるいは、試験前から放射性物質が含まれていた水、土、食物などの試料だった。いずれの試験においても、最終報告では主催者が用意した参照値からの参加者報告値のばらつきが表された。

IAEAが主催した試験³⁾ では、参加者から報告された土試料の測定結果 (¹³⁴Cs, 267件; ¹³⁷Cs, 270件) の内、“Acceptable” は¹³⁴Csで71%, ¹³⁷Csで79%, “Warning” は¹³⁴Csで10%, ¹³⁷Csで9%, “Not Acceptable” は¹³⁴Csで19%, ¹³⁷Csで12%だったと報告された。“Acceptable” は、放射能濃度の参照値からの差と測定者の不確かさに対する評価がIAEAが定める許容値を満たしている参加者に付された。IAEAは、この土試料測定の報告値に対して、放射能濃度の参照値からの差が参照値と報告値を併せた拡張不確かさ (信頼水準99%) の範囲相当以内であり、かつ、15%以下の相対標準不確かさを達成することを要求した。

NPLが主催した試験⁴⁾ の中で示された4回目の技能試験 (水試料, ¹³⁴Cs: 15 Bq kg⁻¹, ¹³⁷Cs: 25 Bq kg⁻¹) では、報告された41件の内、¹³⁴Csで21件が参照値に対して5%より外れた過小評価だった。その原因としてカスケードサム効果が考慮されていない可能性が指摘された。¹³⁷Csでは26件が参照値に対して $\pm 5\%$ 以内の値を報告し、5%より外れた過小評価が5件だった。

IRMMが主催した試験⁵⁾ では、86件のビルベリー試料の測定結果 (¹³⁷Cs: 779 Bq kg⁻¹) の中で、91%が参照値に対して $\pm 20\%$ 以内だった。ただし、参照値と報告値の拡張不確かさから算出される En 数⁶⁾で満足とされる1以下の割合は72%であり、報告された不確かさが過

小評価であると指摘された。

2・2 技能試験用の試料とプロトコルの準備

Fig. 1に本研究の技能試験の全体計画概要を示す。今回新たに計画した技能試験では、主催者から参加者各々に対して、日本国内で広く普及しているU-8容器に充填された状態の試料を一斉に配布する方式を選択した。その他の試料調製方法は、放射性セシウム分析用玄米粒認証標準物質の調製方法¹⁾に準じた。

あらかじめこの配付用試料から27本の試料を無作為に取り出し、試験結果に対する参照値を与え、試料間の均質性を評価した。参照値は、高純度Ge半導体検出器(ORTEC, GEM130225)を用いた測定により決定した。この検出器から出力される信号をデジタル波高分析器(Canberra, DSA1000)に入力し得られた波高分布から、光電ピークの正味計数率を得た。この検出器の計数効率、産業技術総合研究所で維持されている国家標準に基づき校正された。具体的には、標準器の一つである加圧型電離箱で放射能濃度が校正された放射性溶液から線源を作製し、測定器の計数効率と校正に係わる測定値の不確かさを評価した。試験報告書

が公開されるまで、この参照値は参加者には非公開とした。

参加者は、主催者より試料を受け取り、U-8容器を開封することなく、試料中に含まれる¹³⁴Cs及び¹³⁷Cs放射能濃度を分析した。試料充填高さは充填時に48mmに揃えられていたが、参加者に個々の試料で高さを測定することを求めた。自己吸収補正量の計算に用いる密度は試料充填時に 0.94 g cm^{-3} に揃えられた。測定時間については参加者各々が決定し、校正値の不確かさを考慮して、取得される計数による統計不確かさを抑えるように求めた。

技能試験の実施にあたり、主催者が定める技能試験の内容を記したプロトコルを作成し、このプロトコルへの同意を前提にして、参加者を募った。参加者には、Ge半導体検出器による放射能測定を実施できることを条件として求めた。技能試験の試験報告書に示される報告値の集計結果は、各報告値に参加者自身のみが知る参加者番号を付して表記した。参加者に求めた報告は、放射能濃度、計数統計による不確かさ、校正用線源の校正値の不確かさに加えて、使用した測定器の情報(型式、エネルギー分解能)、測定を実施している環境や機器管理にお

Fig. 1 Plan of proficiency test using sample of brown rice. The reference values were validated by comparison with domestic calibration laboratories and national metrology institutes (NMIs) in foreign country.

いて留意している点である。2013年5月1日に参加者の募集を開始し、2013年6月30日までに結果の報告を求めた。試験報告書は2014年3月に参加者に公開された。

2・3 参照値の検証方法

主催者により決定される参照値を検証するために、国内の放射能JCSS登録事業者である日本分析センター及び日本アイソトープ協会、さらに、他国の計量標準を担う機関との間での比較試験を計画した。これらの機関は、いずれもSI（国際単位系）にトレーサブルな放射能校正能力がある機関であり、参照値を決定する作業を検証する比較対象として適している。

環境中に存在する試料を用いた計量標準機関の間での国際比較としては、過去に7件しかないが、近年ではIRMM主催によるビルベリー試料を用いた例がある⁷⁾。このビルベリー試料での国際比較の結果に基づき、上述のIRMM主催の技能試験⁵⁾の参照値が与えられている。

本研究においても、技能試験と同じロットの試料を使用して各機関との比較を実施し、技能試験の参照値に妥当性評価を与えられるようにした。各機関に対しては、本研究の技能試験

の参照値を開示しないまま、試料を提供した。試料送付形態は技能試験参加者の場合と同じく、U-8容器に充填した状態とした。

3. 結 果

3・1 参照値の決定

Fig. 2に、参照値決定のために高純度Ge半導体検出器により取得した γ 線波高分布を示す。定量に用いた ^{134}Cs の796 keVと802 keV、 ^{137}Cs の662 keVの光電ピーク付近を拡大し、玄米試料を測定する直前に取得したバックグラウンドの波高分布と併せて示す。

662 keV光電ピークは他のピークと干渉せず明確にベースラインと切り分けられるが、605 keV光電ピークは ^{214}Bi の609 keV光電ピークと干渉している。（なお、当該検出器の波高分解能は、 ^{137}Cs の662 keV光電ピークの半値幅で表すと1.7 keVだった。）そのため、 ^{134}Cs 放射能の定量には796 keVと802 keV光電ピークを足し合わせた正味計数率を用いた。

バックグラウンドの波高分布においても、わずかながら ^{134}Cs 、 ^{137}Cs 由来の光電ピークが見られる。これらは、1F事故後に見られるようになった光電ピークであり、放射性降下物による汚染の影響と考えられる。玄米試料測定時

Fig. 2 Obtained pulse height distribution around the full energy peaks of ^{134}Cs and ^{137}Cs for determination of the reference values.

の662keV光電ピークの正味計数率 0.3 s^{-1} に対して、バックグラウンド測定時は 0.004 s^{-1} だった。

装置から得られた正味計数率 N より、玄米試料中に含まれる放射能 A は、下式により求めた。

$$A = \frac{(N - N_B)}{\varepsilon} \times k_1 \times k_2 \quad (1)$$

N_B はバックグラウンド正味計数率、 ε は校正された計数効率、 k_1 及び k_2 は補正係数で試料内での γ 線の自己吸収量、試料充填高さによる計数効率変化量の補正を表す。さらに試料質量で除して求めた放射能濃度について、27試料の平均値は ^{134}Cs で 45.0 Bq kg^{-1} 、 ^{137}Cs で 86.8 Bq kg^{-1} だった（参照日時は2013年5月1日、日本標準時午前0時）。参考文献²⁾で示された認証標準物質の認証値の決定に準ずる方法で算出された拡張不確かさ（ $k=2$ ）は ^{134}Cs で 3.7 Bq kg^{-1} 、 ^{137}Cs で 5.4 Bq kg^{-1} だった。これらの値を、技能試験の参照値として決定した。

3・2 参照値の検証結果

Fig. 3に、技能試験主催者である産業技術総合研究所、日本分析センター、日本アイソトープ協会の三者による玄米試料中の放射能濃度の測定結果を拡張不確かさと共に示す。U-8容器

に充填された2本の試料を開封せずに三者間で回覧し、高純度Ge半導体検出器により測定された。試料質量は、技能試験主催者より開示された。

各機関の測定値は、いずれの試料、核種においても拡張不確かさの範囲内で十分に一致した。また、上述の技能試験参照値に対しても、その拡張不確かさの範囲内の値だった。技能試験主催者による測定では、計数統計にかかわる標準不確かさは ^{134}Cs で1.7%、 ^{137}Cs で0.9%だった。

^{134}Cs について比較すると、Sample Aでは、Lab.2/Lab.1は1.006、Lab.3/Lab.1は1.027で、Sample Bでは、Lab.2/Lab.1は1.018、Lab.3/Lab.1は0.982であり、5%の範囲内に分布し、各機関の報告値の大小順位が入れ替わった。 ^{137}Cs の場合、Sample Aでは、Lab.2/Lab.1は1.040、Lab.3/Lab.1は0.997で、Sample Bでは、Lab.2/Lab.1は1.018、Lab.3/Lab.1は0.948であり、7%の範囲内で各機関の報告値が同じ順位で並んだ。

各国の計量標準機関との国際比較は、2014年2月までに完了した。現在結果を集計し公開へ向けた準備が進められている。APMP.RI (II)-S3. ^{134}Cs . ^{137}Cs がIDとして当てられており、公開された後には、国際度量衡局（BIPM）のホームページ（<http://kcdb.bipm.org/>）から結果を参照できる。

Fig. 3 Radioactivity concentrations of ^{134}Cs and ^{137}Cs in two samples of brown rice. They were compared with values which were reported by domestic calibration laboratories.

Fig. 4 Deviation charts and z' scores of the participant's reported of (a) ^{134}Cs and (b) ^{137}Cs radioactivity concentration.

3・3 技能試験参加者からの報告値集計結果

技能試験への参加者は37機関で、複数の機器を所有している機関が含まれたため報告件数は48件だった。同一機関内では、一つの試料を回覧した。Fig. 4に、技能試験の参加者から報告された値をグラフで示す。参照値との差の相対値 (Deviation, D) に加えて、 z' スコア⁶⁾を併せて示す。

$$D = \frac{x - x_R}{x_R} \quad (2)$$

$$z' = \frac{x - x_R}{\sqrt{NIQR^2 + u_R}} \quad (3)$$

x は参加者からの報告値, x_R は参照値, $NIQR$

は正規四分位数範囲で上四分位数と下四分位数の差に0.7413を乗じた値 (報告値のばらつきの標準偏差に相当, ^{134}Cs で 2.0 Bq kg^{-1} , ^{137}Cs で 3.3 Bq kg^{-1}), u_R は参照値の標準不確かさを表す。

報告値の参照値からのばらつき範囲は ^{134}Cs と ^{137}Cs のいずれも $-11.4 \sim +14.8\%$ の間だった。 ^{134}Cs と ^{137}Cs で -11.4% の値を報告した参加者は同一であったが、 $+14.8\%$ を報告した参加者は別だった。 z' スコアは絶対値が2を超える報告値が、 ^{134}Cs で1件、 ^{137}Cs で4件あった。

参加者から報告された計数統計による標準不確かさは、平均して ^{134}Cs で 6.2% 、 ^{137}Cs で 4.5% 、最大の値では ^{134}Cs で 12.0% 、 ^{137}Cs で

24.2%だった。この24.2%を報告した参加者の参照値との違いは6.3%だった。 ^{134}Cs では5件、 ^{137}Cs では2件の参加者から計数統計による標準不確かさの報告がなかった。また、報告された校正値の不確かさについては、 ^{137}Cs で4.6～4.7%の報告が41件あったが、 ^{134}Cs は40件が報告なしだった。

4. 考 察

4.1 検証された参照値

技能試験の参照値の決定には、計数効率が高い型の高純度Ge半導体検出器を用いた。参照値に付せられた不確かさの要素を大きい順に並べると、計数効率校正値の不確かさ、計数統計による不確かさ、試料充填高さの違いによる計数効率の不確かさである。このうち、校正値の不確かさは、国家標準にトレーサブルで実現しうる最小の不確かさだった。試料充填高さの違いによる計数効率の不確かさは、試料個々のばらつきや玄米が粒状であることによるばらつきを加味して48mmの充填高さに対して $\pm 2\text{mm}$ と考慮して大き目に見積もられている。計数統計による不確かさについては、U-8試料に対して大きな計数効率を持つ大型結晶の検出器を使用しており、検出器の選択では不確かさが最小になるように考慮されている。さらに、試料測定時間を長くすることにより不確かさを低減できる可能性があるが、現状の正味時間の単純な計算だけでも50,000秒 $\times$ 27試料=16日弱の日数がかかっており、仮に不確かさを半分に減らすためには2か月以上を要することになり、現実的とはいえない。したがって、現状の測定手法で実現しうる最小の不確かさを実現していると考えられる。

この検出器による測定では、バックグラウンド測定でも662 keVの ^{137}Cs 、796 keV、802 keVの ^{134}Cs による光電ピークが検出されている。これらのピークの正味計数率は、玄米試料測定で得られる正味計数率から差し引いて処理された。その差引量は、玄米試料測定時の正味

計数率に対して1%程度であり、その変動による参照値への不確かさは ^{134}Cs で0.3%、 ^{137}Cs で0.1%であり、測定精度へは影響しなかった。当該検出器は、1F事故当時の放射性降下物の測定でも使用され⁸⁾、汚染を免れることができなかった。本体を含めた検出器周辺を清掃し、遮蔽ブロックを組み直し、検出器本体及び遮蔽体内部を薄めた塩酸溶液などで拭き取る作業を繰り返し実施したことにより、汚染当初の10分の1程度にまでは正味計数率を抑えられた。

この参照値の決定に用いた検出器は、その計数効率が放射能濃度を介して標準器により校正されている。この標準器にトレーサブルな校正を実施する機関による検証結果ではいずれも不確かさの範囲内で一致していたことにより、参照値の妥当性が示された。 ^{134}Cs と ^{137}Cs のいずれも、各機関の間での系統的な差異は認められず、計数統計によるばらつきが主な差異の原因であると考えられる。

標準器により測定される放射能濃度が、他国の計量標準機関との間で同等であることはすでに示されている。そのため、今回の参照値検証に参加した計量標準機関で用いられている測定器の校正は、互いに同等であると考えられる。そのうえで、比較した結果が一致することは、玄米試料に対する参照値の決定方法が他の機関で用いられている方法と照らし合わせて妥当であることを意味している。

4.2 技能試験結果のばらつき

妥当性の根拠が示された参照値を基にして、技能試験の集計結果が示された。すべての報告値が参照値の $\pm 20\%$ 以内に収まっており、IRMMが主催した試験の結果⁵⁾と比べて、ばらつきが小さかったと言える。全ての参加者がGe半導体検出器による γ 線スペクトロメトリによる測定を実施し、参加者が校正値の不確かさを考慮して統計不確かさを抑えられたことが大きく寄与した。

また、NPLが主催した試験の結果⁴⁾のよう

に ^{134}Cs の報告値が低い方向に偏ることはなく、各参加者がカスケードサム効果を考慮した測定を実施できていることを示した。

JIS Q 17043:2011⁹⁾に従えば、 z' スコアで絶対値が2を超える報告値に対しては測定内容の見直しを促すシグナルを出すことになる。この z' スコアは参加者全体の報告値のばらつきに影響されるが、今回の技能試験では、参照値との差において ^{134}Cs で $\pm 12.1\%$ 、 ^{137}Cs で $\pm 9.8\%$ がシグナル有無の境界となる。シグナルを受けた報告値を報告した参加者が、報告値全体のばらつきの中で偏った値を報告した事実に基づいて、自らの測定内容を見直す契機となった。

一方で、下式で評価される En 数では、報告値全体のばらつきに影響されず、参照値と単一の報告値により評価される。

$$En = \frac{x - x_R}{\sqrt{U_{\text{lab}}^2 + U_R^2}} \quad (4)$$

U_{lab} は報告値の拡張不確かさ、 U_R は参照値の拡張不確かさを表す。 En 数では、個別の参加者が計数統計のばらつきが大きく、偶然に参照値からの差が大きい値を報告した場合も考慮される。今回の技能試験の場合、この En 数評価実施には、 U_{lab} が報告される情報として不足している。しかし、Ge半導体検出器での測定で大きな割合を占める校正値の不確かさ(u_{Calb})と計数統計の不確かさ(u_{Stat})は参加者から報告されている。試料充填高さは参照値の不確かさの中で評価されている点を考慮すると、 u_{Calb} と u_{Stat} を用いて En 数に近い値を評価できると考えられる。 ^{137}Cs で、この不確かさ3項目のみを含めた En 数評価を実施すると、6件が絶対値で1を超える結果となる。ただし、この結果には校正値の不確かさを報告していない4件は含まれない。 z' スコア評価と比べると、 En 数評価では2件がシグナルの対象から外れ、4件が追加でシグナルを発する対象となる。

今回の技能試験では、参加者自身が妥当性を確認し、参加者全体の技能レベルを明示する

ことが目的であり、IAEAが主催した試験³⁾のように参加者に一定水準の測定レベルを求める許容値は設定しなかった。IAEA技能試験のような評価を受けるためには不可欠であるが、現状での参加者のニーズを踏まえ、今回の技能試験では全体の測定値不確かさは報告を求めなかった。

前述した過去の技能試験の結果との比較においては、プロトコルに定められた条件が互いに異なっている。特に、今回の技能試験では、試料処理作業を主催者が一括して実施し、参加者はすべて同じ試料条件で測定を実施している。参加者が試料充填作業を実施することによるばらつきは排除され、今回の結果には影響していない。

5. 結 論

今回、技能試験と参照値検証を同時に計画し、検証された参照値に基づいて、参加者個々が妥当性を確認できるようにし、参加者全体の技能レベルを明らかにした。この結果、過去の技能試験の例と比べて、ばらつきの小さい報告値が集められた。これは、主催者が一括して試料を調製した条件下ではばらつきが小さく、参加者全体の測定値の信頼度が高いことを意味している。

実際に福島県内で収穫され、一般食品の基準値付近の放射能が含まれる試料を対象として、37機関、48件の報告値の中で、参照値との差が $\pm 20\%$ を超える報告値はなかった。一方で、測定内容を見直すきっかけとして複数の報告値に対してシグナルが発せられた。測定の品質管理において、このシグナルは測定作業手順を見直す契機となった。このように、参照値からの差が小さいこと、シグナルが発せられて測定者が見直しを実施することは、測定依頼者からの信頼を支える材料となる。

謝 辞

本研究は、産業技術総合研究所・食品総合

研究所共催による平成25年度放射性セシウムを含む玄米試料を用いた放射能測定技能試験の成果を利用した。ここで、技能試験参加者の方々のご協力に改めて謝意を表す。日本アイソトープ協会及び日本分析センターによる参照値の妥当性検証は、産業技術総合研究所と両機関による共同研究「玄米中放射能の標準物質認証に係る測定検証実験」の成果である。

文 献

- 1) 八戸真弓，等々力節子，海野泰裕，三浦 勉，柚木 彰，濱松潮香，放射性セシウム分析用玄米粒認証標準物質の調製方法と保存方法の開発，*RADIOISOTOPES*, **65**, 169–180 (2016)
- 2) 三浦 勉，柚木 彰，海野泰裕，濱松潮香，八戸真弓，等々力節子，国家標準にトレーサブルな放射性セシウム分析用玄米認証標準物質の開発，*RADIOISOTOPES*, **65**, 157–167 (2016)
- 3) International Atomic Energy Agency, Worldwide open Proficiency Test on the Determination of Radionuclides in Spinach, Soil and Water, IAEA-CU-2007-03 (2009)
- 4) Woods, M. J., Jerome, S. M., Dean, J. C. J. and Perkin, E. M. E., A review of data obtained in a series of radioactivity measurement intercomparison exercises in the UK: γ -ray emitters 1989–1994, *Sci. Total Environ.*, **173–174**, 247–257 (1995)
- 5) Merešová, J. and Wätjen, U., Results of an EC laboratory comparison on ^{40}K , ^{90}Sr and ^{137}Cs in dried bilberry powder, *Appl. Radiat. Isot.*, **87**, 443–446 (2014)
- 6) JIS Z8405: 2008 (ISO/IEC 13528: 2005) 試験所間比較による技能試験のための統計的方法，日本規格協会，2008年1月20日制定
- 7) Wätjen, U., Altitizoglou, T., Ceccatelli, A., Dikmen, H., Emteborg, H., Ferreux, L., Frechou, C., La Rosa, J., Luca, A., Moreno, Y., Oropesa, P., Pierre, S., Schmiedel, M., Spasova, Y., Szántó, Z., Szűcs, L., Wershofen, H. and Yücel, Ü., Results of an international comparison for the determination of radionuclide activity in bilberry material, *Appl. Radiat. Isot.*, **70**, 1843–1849 (2012)
- 8) Unno, Y., Yunoki, A., Sato, Y. and Hino, Y., Estimation of immediate fallout after the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant by using HPGe detector and EGS5 code, *Appl. Radiat. Isot.*, **81**, 348–352 (2013)
- 9) JIS Q 17043: 2011 (ISO/IEC 17043: 2010) 適合性評価—技能試験に対する一般要求事項，日本規格協会，2011年9月20日制定

Abstract**Proficiency Test of Radioactivity Measurement
Using Samples of Brown Rice**

Yasuhiro UNNO^{*, †}, Akira YUNOKI^{*}, Tsutomu MIURA^{*}, Shioka HAMAMATSU^{**},
Mayumi HACHINOHE^{**} and Setsuko TODORIKI^{**}

^{*}National Metrology Institute of Japan, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
1-1-1 Umezono, Tsukuba-shi, Ibaraki Pref. 305-8568, Japan

^{**}National Food Research Institute, National Agriculture and Food Research Organization
2-1-12 Kannondai, Tsukuba-shi, Ibaraki Pref. 305-8642, Japan

A proficiency test for radioactivity measurements of ^{134}Cs and ^{137}Cs by γ ray spectrometry was conducted in May and June 2013. Reference values in the proficiency test were validated by comparison with other international and domestic calibration institutes. A result of the proficiency test showed small deviation between the reference values and most of reported values from participants. Signals which urged check for their measurement were issued to values which have large deviation. The proficiency test clearly showed technical quality of participant for the radioactivity measurement.

(Received July 6, 2015)

(Accepted January 8, 2016)