

第12節 放射性物質対策に関する試験研究及び県農産物等モニタリング検査

平成23年3月11日の東日本大震災後に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故により、多量の放射性物質が放出され拡散した。本県は福島第一原子力発電所より約80から180kmに位置し、その影響を大きく受けた。

同4月8日に原子力災害対策本部から稲の作付に関する考え方が示され、過去のデータをもとに水田の土壌から玄米への放射性セシウム移行の指標を0.1と仮定して、玄米中の放射性セシウム濃度が食品衛生法上の暫定基準値500Bqkg⁻¹を超える可能性の高い土壌中放射性セシウム濃度5000Bqkg⁻¹を超える地域での稲の作付制限が行われることとなった。また、農林水産省は、稲等の作付が可能な地域で、収穫物への放射性物質の移行を抑えるための取組可能な技術の1つとして、カリウム肥料を慣行より多く投入することを示した。

安全な農産物を生産する対策をとるために、農地土壌がどの程度放射性物質に汚染されているか分布状況を把握すること、更に経年変化を監視していくことが重要である。

消費者は農産物中の放射性セシウム濃度ができるだけ低いことを望んでおり、土壌からの作物への移行を低減する技術の確立や土壌の種類等による移行率の違いを明らかにすること等農産物の放射性セシウムを低減する技術の確立が必要である。

また、安全な県産農産物が流通するためには、出荷前に農産物が放射性物質に関し食品衛生法に適合していることを確認する必要がある。

1 県内農耕地土壌の放射性セシウム濃度分布

農耕地土壌がどの程度放射性物質に汚染されているか分布状況を把握するため、農林水産省と協力して県内の土壌調査を



写真2-12-1 放射性物質測定のための土壌採取

行った。

その結果、本県農耕地には、稲の作付制限の対象となる土壌中放射性セシウム濃度が5000Bqkg⁻¹を超える地点はなかったが、北部および北西部で1000Bqkg⁻¹を超える地点があった。

また、農林水産省による207地点の調査結果をもとに農業環境技術研究所により農地土壌の放射性セシウムの分布マップが作成され、15都県の調査結果とともに平成24年3月23日に農林水産省から公表された。

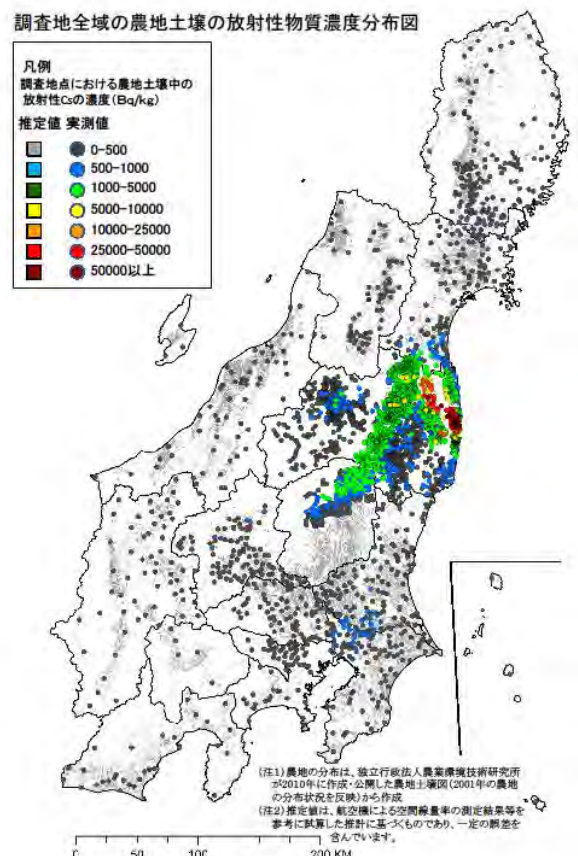


図2-12-1 農地土壌の放射性物質濃度分布図(農林水産省 2012)

2 放射性セシウム吸収低減に関する試験

主要農産物において、放射性セシウムの移行係数に及ぼす土壌環境の影響ならびにカリウム施用、深耕または粗皮削り等の吸収低減のための効果を確認した。

(1) 水稻

ア 土壌の化学性との関係

県北部において、平成23年産および24年産玄米において50Bqkg⁻¹を超える放射性セシウムが検出された。

県北部を中心に、平成23年産米および平成24年産米およ

び跡地土壌（84 検体）を採取し、それぞれの放射性セシウム濃度を測定した。両者から移行係数を求め、跡地土壌の理化学性との関係について検討するとともに、移行係数の予測式を作成した。

水稻玄米への放射性セシウムの移行係数は、土壌の交換性カリウム含量が 20 mg/100g 未満の場合、比較的高く、20 mg/100g 以上では低かった。平成 23 年度は、水稻玄米への放射性セシウムの移行係数には、交換性カリウム含量に加え、炭素含量の影響が大きかった。一方、平成 24 年度は、炭素含量に代わり粘土含量や粗砂含量の影響が大きかった。平成 24 年度の結果に基づく玄米への放射性セシウムの移行係数は、次に示す交換性カリウム含量、粗砂含量を用いた予測式で得られた。その寄与率は 0.306 であった。

$$\text{移行係数} = 0.00672 - 0.00091\text{Ex-K}_2\text{O}(\text{cgkg}^{-1}) + 0.00197 \text{粗砂}(\%)$$

栃木農試成果集 31 : 35-36 (2012)

栃木農試成果集 32 : 45-46 (2013)

イ カリウム資材および有機物の施用による影響

さらに水稻の放射性セシウム吸収抑制対策として、カリウム資材の施用による放射性セシウムの影響を確認した。

玄米の放射性セシウム濃度が比較的高かったほ場において、土壌の交換性カリウム含量を 40 mg/100g に土壌改良することで、玄米の放射性セシウム濃度は、改良しなかった場合の約 3 分の 1 に低下した。また、カリウムの施用効果は、追肥よりも基肥の方が高かった。土壌改良資材としては、塩化カリウムまたは塩化カリウムとケイ酸カリウムの混合が有効であった。大谷石粉末(ゼオライト含有資材)は、含有するカリウムの影響で、玄米の放射性セシウム濃度を低下させた。

牛ふん堆肥および稲わらの連用により、水稻生育期間中の土壌中交換性カリウム含量は 20 mg/100g 以上に維持され、玄



写真 2-12-2 水稻への加里資材施用試験

米の放射性セシウム濃度は低下した。有機物連用圃場における移行係数は平成 23 から 25 年まで低下する傾向であったがその程度は徐々に低下した。

土肥学会講要集 59 : 263 (2013)

土肥学会講要集 59 : 154 (2013)

土肥学会講要集 60 : 273 (2014)

ウ 天水田での吸収動態

平成 23 年秋に県内河川の底質から高濃度の放射性セシウムが検出された。森林面積が大きい本県では、山地から平地への放射性セシウムが継続して流出し、水稻への吸収が懸念される。

そこで、平成 24 年に県北部の天水田 2 カ所、対照として県北から県中部の用水田 6 カ所の用水調査を実施した（7 月 6 日：定常時および 10 月 2 日：台風通過翌日）。作付け前後の土壌の放射性セシウムを分析し、その増減を比較し新たな負荷の有無を検討するとともに土壌の理化学性も分析した。また、水稻を収穫し、玄米の放射性セシウム濃度を測定した。

定常時には、天水田を含めほとんどの用水から放射性セシウムは検出されなかった。1 箇所、用水田の用水から検出限界付近の 0.1 BqL^{-1} で検出された。この用水は懸濁物質（SS）濃度が 30 mgL^{-1} と他地点に比べて高かった。台風通過翌日には、1 つの天水田のため池から放射性セシウムが 0.3 BqL^{-1} の濃度で検出された。このときの SS 濃度は、定常時より低かった。

土壌の全放射性セシウム濃度および交換性放射性セシウム濃度の作付け前後における増減は小さかった。

これらのことから、天水田において山地からの放射性セシウムの負荷は小さいと考えられた。

天水田の土壌の放射性セシウム濃度は用水田に比べて高かったが、玄米のセシウム濃度は、用水田と同等以下であった。土壌の交換性カリウム含量が 20 mg/100g 程度であれば、天水田においても玄米の放射能濃度は高くならないと考えられた。

栃木農試成果集 32 : 47-48 (2013)

(2) 大豆

ア 土壌の化学性との関係

平成 23 年に本県内で収穫された大豆子実から放射性セシウムが検出された。土壌の放射性セシウム濃度が 200 Bqkg^{-1} 程度の県中部でも 30 から 40 Bqkg^{-1} の濃度で検出され、大豆は比較的高い移行係数の大きい作物であると懸念された。そこで、県央および県北部において平成 23 年産大豆子実および跡地土壌を採取し、放射性セシウムの移行係数を求め、跡地土壌の理化学性

との関係を検討した。

大豆子実では、土壌の交換性カリウム含量が大きくなると放射性セシウムの移行係数は小さくなる傾向を示した。しかし、水稲玄米ほど関係性は明確ではなかった。また、可給態窒素含量が高いほど移行係数は小さかった。

栃木農試成果集 31 : 37-38(2012)

イ カリウム資材の施用による影響

カリウム肥料の施用による大豆子実への放射性セシウムの移行係数の低減効果を那須塩原市の現地圃場で検討した。カリウム増施により子実への放射性セシウム濃度および移行係数の低減効果が認められ、播種時の土壌中の交換性カリウム含量を 30 mg/100g (栽培後の土壌中の交換性カリウム含量 : 20 mg/100g) にするよう土壌改良を行うことで、移行係数はおよそ 0.01 以下に低減できた。一方、カリウム資材としての大谷石粉施用によって子実放射性セシウム濃度および移行係数が高くなる場合があり、土壌中カリウムの吸着による水溶性カリウムの低下がその原因と考えた。

(3) そば

カリウム肥料の施用による移行係数の低減効果を日光市の現地圃場で検討した。カリウム増施により子実への放射性セシウム濃度および移行係数の低減効果が認められ、50 mg/100g (栽培後の土壌中の交換性カリウム含量 : 35 mg/100g) にするよう土壌改良を行うことで、移行係数はほぼ 0.01 以下に低減できた。

(4) 麦類

黒磯農場(多湿黒ボク土、交換性カリウム含量 26-30 mg/100g)において、平成 23 年秋に播種した小麦(品種:ゆめかおり)および大麦(品種:スカイゴールデン)の放射性セシウム濃度を測定し、移行係数を算出した。また、放射性セシウムの移行を抑制することが期待されている土壌改良資材のカリウム増肥(慣行の 3 倍量)、大谷石施用(3000 kg/10a)、ゼオライト施用(1000 kg/10a)について、その効果を検討した。

子実の乾物あたりの放射性セシウム濃度は、小麦では 2.0 Bqkg⁻¹、大麦では 1.6 Bqkg⁻¹と極めて低いレベルであった。土壌から子実への移行係数は、小麦では 0.0018、大麦では 0.0013 と極めて低かった。カリウム増肥、大谷石施用またはゼオライト施用による効果は判然としなかった。

日本作物学会講演会要旨集 237: 402-403(2014)

(5) 果樹

福島第一原発事故発生時に降下した放射性セシウムは、果樹の粗皮などの樹体表面に付着し残留した。2 年間のデータから、事故発生後に発芽したなしおよびぶどうの 1 年生結果枝の放射性物質濃度は、2 年生以上結果枝および結果母枝と比較し低く、新梢への移行は少ないことが明らかとなった。なし果実は放射性物質濃度の高い粗皮に接触していても検出限界以下であることが明らかとなった。作土表層の除去、耕耘や粗皮削りによりほ場内の放射性物質を低減できることが明らかとなった。

(6) れんこん

県北部では、平成 24 年産の一部のれんこんから放射性セシウムが 100 Bqkg⁻¹以上の濃度で検出された。このため、平成 24 年 12 月に県北地域のれんこん及び跡地土壌を採取し、それぞれの放射性セシウム濃度を測定した。両者から移行係数を求め、跡地土壌の理化学性との関係について検討した。

土壌の pH、細砂含量が放射性セシウムのれんこんへの移行係数との間で有意な正の相関を示した。一方、炭素含量、CEC および可給態窒素含量は有意な負の相関を示した。れんこんへの放射性セシウムの移行係数は、次に示す pH、炭素含量および細砂含量を用いた予測式で求められ、その寄与率は 0.766 であった。

移行係数 = $-0.7433 + 0.1073\text{pH} - 0.0242\text{T-C}(\%) + 0.003084 \text{細砂}(\%)$

栃木農試成果集 32 : 49-51 (2013)

3 堆肥施用によるセシウム吸収への影響に関する試験

(1) 放射性セシウムを含む堆肥等連用による土壌およびいちごへの影響調査

原発事故発生時はいちごの収穫期間中であり、いちご生産ほ場は温室に展張した被覆フィルムによりほ場の土壌汚染は免れたものの、土づくり資材として不可欠な堆肥や栃木農試方式いちご閉鎖型養液栽培システム等で広く利用されているクリプトモス培地などの資材が、放射性セシウムに汚染されていることが明らかとなった。

そこで、放射性セシウムに汚染された堆肥並びにクリプトモス培地のいちご子実への影響を明らかにした。また、高濃度汚染土壌のいちご果実中放射性セシウム濃度に及ぼす影響を検討し、さらにその抑制対策を明らかにした。

ア 堆肥連用による影響

放射性セシウムを含む堆肥の施用がいちご果実に及ぼす影響を検討した。非汚染土壤に放射性セシウムを 500 Bqkg^{-1} 程度含む堆肥を 200 kga^{-1} 施用したほ場で収穫されたいちご果実から放射性セシウムは検出されなかった。

イ クリプトモスを利用したいちご栽培での影響

放射性セシウムを含む汚染クリプトモス培地を用いたいちご養液栽培がいちご果実に及ぼす影響を検討した。放射性セシウムを 200 Bqkg^{-1} 程度含む汚染クリプトモス培地を用いた養液栽培でのいちご果実への放射性セシウムの移行係数は最大で 0.06 であり、汚染クリプトモス培地にバーミキュライトを混合することにより、放射性セシウムの果実への移行を抑制できることが明らかとなった。また、汚染クリプトモスに体積比で 5 倍量の地下水をかけ流すことにより、培地中の放射性セシウムを 30 %程度低減できることが明らかとなった。

ウ 高汚染土壤における果実への影響

放射性セシウムを多量に含む高汚染土壤中の交換性カリウム含量の違いがいちご果実に及ぼす影響を検討した。放射性セシウムを 2500 Bqkg^{-1} 程度含む土壌を用い、交換性カリウムの含量を高 ($35.1 \text{ mg}/100\text{g}$)、中 ($20.9 \text{ mg}/100\text{g}$)、低 ($14.7 \text{ mg}/100\text{g}$) の 3 水準で比較したところ、放射性セシウムのいちご果実への移行係数は、高 0.001、中 0.002、低 0.004 であり、土壌に交換性カリウムを高めることにより、放射性セシウムの吸収を抑制できることが明らかとなった。

(2) 放射性セシウムを含む堆肥連用によるトマトへの影響

トマトに放射性セシウムを 1000 Bqkg^{-1} 程度含む堆肥を $3 \text{ t}/10\text{a}$ 施用したところ、収穫物および植物体(茎・葉)において、放射性セシウムは検出限界値以下であった。

(3) 放射性セシウムを含む堆肥連用による花き類への影響

小菊およびシクラメンに放射性セシウムを 1000 Bqkg^{-1} 程度含む堆肥を施用したところ、両作物とも、放射性セシウムはほとんど検出されなかった。

(4) 放射性セシウムを含む堆肥の表面施用によるアスパラガスおよび土壌への影響

堆肥の放射性セシウムの暫定許容値は 400 Bqkg^{-1} (現物あたり) である。この値は、毎年 $2 \text{ t}/10\text{a}$ の堆肥を土壌混和することを想定して策定されている。アスパラガス栽培では一般に堆肥を毎年、表層へ多量に施用するため、堆肥中セシウムの影響への

懸念が大きい。そこで、堆肥の表面施用による作物体および土壌の放射性セシウム含量への影響を調査した。

アスパラガス栽培で放射性セシウムが 400 Bqkg^{-1} 程度の堆肥を $14 \text{ t}/10\text{a}$ と多量に表面施用した場合でも、若芽の放射性セシウムは収穫期間中 0.5 Bqkg^{-1} (新鮮あたり) 未満であった。収穫終了時の土壌中放射性セシウムは、地表から 5 cm まで多少高まり、その程度は理論値と同程度であった。

栃木農試成果集 32 : 43-44 (2013)

(5) 土壌動物への影響

土壌動物の代表種であるミミズ類への土壌からの放射性セシウムの移行および、ミミズによる有機物分解作用が、土壌中の交換態セシウム濃度に与える影響を検討した。

放射性セシウム濃度が 5820 Bqkg^{-1} の県畜産酪農研究センター畑土壌と購入腐葉土を容積比 9:1 で混合して滅菌し、当該土壌 10 L にミミズを 80 頭放飼した。ミミズの放射性セシウム濃度は、飼育日数の経過とともに上昇し、180 日後には 70.4 Bqkg^{-1} になり、土壌中の放射性セシウムの一部は、土壌動物の体内に移行することが確認された。

土壌の交換態セシウム濃度は、全放射性セシウム濃度の 3 から 4% 前後で推移し、ミミズ飼養による影響はなかった。(平 24)

4 加工過程におけるセシウム濃度の増減に関する試験

平成 24 年産の果実類の一部で放射性セシウムが検出された。加工方法によっては、濃縮によって放射性セシウム濃度が高まる懸念された。

そこで、平成 24 年に、梅、プラム、ブルーベリーおよびいちごの果実を採取し、標準的なレシピに従い加工し、加工品の放射性セシウム濃度を測定した。

梅干しの製造過程において、生梅の放射性セシウム量は梅干し 0.65 : 梅酢 0.35 に分配された。加工前後における放射性セシウムの存在量はほぼ同等であり、消失は生じていなかった。梅干しの放射性セシウム濃度は、生梅のセシウム濃度 (Bqkg^{-1}) $\times 0.65 \times (\text{加工後の乾物率}/\text{加工前の乾物率})$ で予測できた。

梅ジャムは、加工後の放射性セシウム濃度が大幅に低下し、製造過程の裏ごし作業によって系外の排除されたものと考えた。一方、プラム、ブルーベリー、いちごではジャム加工後の放射性セシウム濃度は、加工前の放射性セシウム濃度 $\times (\text{加工前重量}/\text{加工後重量})$ で推定できた。

栃木農試成果集 32 : 51-52 (2013)

5 県農産物等モニタリング検査

県農林水産物のモニタリング検査は、国の原子力災害対策本部が定めた「検査計画、出荷制限等の品目・区域の設定・解除の考え方」に基づき、原則市町村単位で、販売目的に生産される農林水産物について出荷前に実施され、安全性を確認した。

モニタリング検査計画にしたがい、県農業振興事務所の職員が採取した試料または、農業振興事務所の NaI シンチレーション検出器で 50 Bqkg^{-1} 以上の測定値を示した試料について、当場のゲルマニウム半導体検出器で放射性物質を測定した。県庁に報告した結果は県ホームページで公表された。

場の検査体制は、土壤環境研究室および生物工学研究室の研究員からなり、ゲルマニウム半導体検出器の測定結果の検証やメンテナンスを実施する「放射能測定マネジメントチーム」と、それ以外の全研究員からなり測定業務を輪番制で実施する「放射能測定従事者」で構成された。ゲルマニウム半導体検出器は、

1号機が平成23年8月に、2号機が平成24年3月に導入された。

測定試料は、玄米、大豆、麦類、そば、野菜類、果樹類、茶、腐葉土、畜産物、水産物、(林産物、平成24年5月まで)など、平成27年3月までに10,414点の測定を実施した。



写真 2-12-3 ゲルマニウム半導体検出器

コラム 9

農業試験場の新たな門出

私が場長をしておりましたのは、平成22年から3カ年間です。当時、県庁は財政再建計画(未来開拓プログラム)の途上にあり、職員の給与は減額され、研究予算も大幅カット、さらに研究員を5年あまりで10余名の削減を求められておりました。幸いなことに財政再建計画においても農業試験場関係の施設再編整備計画は関係者の努力により計画通り実施され、いちご研究所の竣工、新しい本館の竣工、麦類研究室の本場移転、佐野原種農場の廃止など、数十年ぶりの施設整備や、組織再編が行われました。まさに、新たな門出を迎える時期でありました。また、技術労務職員の任用替え試験が実施され、技術職員の中堅が大挙して、事務系の職場に異動するという事態になり、代わりに土木管理業務や運転業務を主とした職員が配置されましたが、農業関係の業務には不慣れなものが多く、試験研究や原種生産に影響を及ぼすことが予想されるなど、内外共に大きな変革の時期でもありました。

当時の予算削減や人員削減が大幅であり、従来の縦割りの執行体制では、研究課題の廃止やさらには研究室自体の存続が議論されるような状況になってきておりました。このため、研究室自前ですべて行ってきた試験等(耐病性、土壌分析、DNA マーカーの活用等)をそれぞれ専門の研究室との連携による業務分担や、効率化を進め、研究業務や、予算執行の合理化を推進し、場全体での組織横断的な対応を図ろうと検討を進めておりました。それぞれ割り振られている試験研究課題を研究室の壁を取り払い、予算の効果的な執行や人員削減に伴う影響をできるだけ排除し、農業の課題解決に向けて速やかに試験研究に取り組むシステムを確立しようとする考えでありました。これらの検討の結果、部を廃しすること、各研究室の横断的な試験研究を推進する研究統括監を設置することになりました。県庁の組織変更は、リード期間が少なくとも

1年以上は必要となります。また、将来の目標、試験場の方向性などの理念を構築することなど、必要性、合理的・効率的なものであって、初めて関係部署の説得が可能となります。この組織再編の検討は、伊藤浩次長をトップに各研究室長がメンバーとなるワーキンググループで行われ、具体的な組織案を石毛正純次長が人事当局等の関係部署との粘り強い折衝の上に成し遂げられたものです。研究統括監については、県庁の他の部からも注目され、他県からも視察や問い合わせがあるなど、新たなシステムとして評価されておりました。さらに、技術職員の任用替えについては、技術を指導する技術長の設置や原種農場に技術職員OBを嘱託として配置するなどの緊急的な処置は取りましたが、抜本的な対応には至らずに残りておりました。

一方、いちご王国を自認する栃木の主力品種「とちおとめ」の許諾権切れが迫ったことや「あまおう」等の他県産の新品種が続々登場していることなどから、農家はもとより、県執行部や議会などから、新たな品種の開発を強く要望されておりました。いちごの新品種育成については、これまで、場を挙げて全力で取り組んで来ておりましたが、収量・品質・栽培性などの能力が極めて高い「とちおとめ」に代わる品種の開発は難航しておりました。十数年の間に多くの新品種候補の系統が開発され、他県では立派な品種になる能力を持つ系統もありましたが、「とちおとめ」を超えるというわけにはいかず、新品種とはならない状況でありました。こうした中、「とちおとめ」と比べる(替える)との発想ではなく、「将来に向けたに新たな形質を持ち、高級ブランドになる品種」として、新たに品種を導入するとのことで、大果を特徴とする「栃木 i27 号(スカイベリー)」が誕生しました。いちご研究所の深澤所長をはじめとする職員の考えに、考えぬいた戦略により、新しい品種が世に出たわけでありました。「とちおとめ」とは栽培特性が大幅に異なることから、当初の成績は不安定でありましたが、試験場の総力を挙げた栽培試験の結果、多くの課題が解決され徐々に期待どおりの成果を上げてきております。平成27年産の東京市場の価額では、「とちおとめ」に比べ30%近くのプレミアムがついてきております。

オリジナルの新品種は、県産ブランドとして確立することが容易であり、生産・流通販売が活性化するなど、農業振興においてきわめて大きな影響を及ぼします。各作物の生産現場や販売環境などにより、その影響には大小がありますが、3カ年間で、アジサイの「きらきら星」、うどの「栃木芳香1号、2号」、水稻の「とちぎの星」、二条大麦の「アスカゴールデン」、梨の「おりひめ」、いちごの「スカイベリー」などが品種登録出願され、おおむね高い評価を受け、生産者が増加する品目も見られるなど、順調に生産拡大が図られております。これらの成果を踏まえ、水稻、麦類、いちご、梨、花(あじさい、りんどう)、野菜(にら)等について、今後10年程度を目標とする育種の方向性を、「農業試験場育種方針」として取りまとめ、各研究室の育種に取り組む方向性を明確化したところであります。この方針の策定にあたっては中山研究統括監をはじめ育種を行う研究室(栽培)、育種を支援する各研究室長(環境)にご苦労いただきましたが、横断的な試験研究業務の一つとして、この方針が具体化されたものであると考えております。余談になりますが、本館竣工式のあいさつにおいて福田知事から多くの新品種の開発、育成について「農業試験場には明るい話題が多い」とのお褒めをいただき職員一同感激したところであります。

前後しますが、東日本大震災では、原発の事故に伴う放射能拡散により農作物や畜産物から放射能が検出されたことにより、出荷自粛や停止となるなどの大問題となりました。急遽、農業試験場に放射能分析機器が設置され、分析業務をおこなうことになりました。当初、1点の分析に数時間かかるのとことで、予定される分析件数を想定し、24時間体制で研究員全員が対応しなければいけないと考え、場全体で取り組む分析体制を整備しました。分析は1点30分程度になり、当初見込みの徹夜の業務は避けられたものの、お米などは分析点数が多く、牛肉の分析などには手が回らない事態となりましたが、農業振興事務所や家畜保健衛生所などの、分担により、円滑に分析が行われるようになりました。当初の導入期から、獅子奮迅の働きで分析業務に関わった伊藤浩次長、福田充主任研究員、生井潔室長および鈴木聡室長に感謝いたします。

多くのことは当時の試験場の職員の努力はもとより、伝統ある農業試験場の多くの先輩の研究・蓄積の上に成し遂げられたものであることは申すまでもありません。新たな農業試験場の門出としてはまとまりのないものとなりましたが、職員の皆様には、日々是革新し、新しい農業試験場で成果を挙げますことを期待するものです。

鈴木崇之