

第3章 大豆およびそばの放射性セシウム吸収低減化 カリ資材施用による移行低減効果

糸川晃伸¹⁾・青沼伸一²⁾・菅谷和音・星一好³⁾

摘要:カリ施用(硫酸カリ)による大豆およびそば子実への放射性セシウムの移行係数の低減効果を、栃木県那須塩原市および日光市の現地圃場で検討した。カリ増施により、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た。大豆における移行係数は、カリ施用を $70\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ 目標値とした時、 $30\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ 目標の約 50% となった。一方、大豆においてカリ資材として大谷石粉施用の低減効果を検討したが、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見られるなど、判然としなかった。

キーワード:大豆、そば、放射性セシウム、移行係数、硫酸カリ、大谷石粉

I 緒言

栃木県における 2011 年産大豆およびそばの作付面積は、それぞれ 3440ha および 2100ha であり、いずれも本県の土地利用型農業の基幹作物として位置づけられている。東京電力福島第一原子力発電所の放射能漏れ事故以降、本県産の大豆およびそばにおいてもモニタリング検査が実施されている。土壌中の交換性カリ含量を高めると植物体中の放射性セシウム濃度が低下するとされ、カリの施用による子実への放射性セシウムの移行係数の低減効果が種々の作物で認められている。しかし、本県における大豆およびそばの移行係数の低減効果は明らかになっていない。そこで、カリ施用(硫酸カリ)による大豆およびそば子実への放射性セシウムの移行係数の低減効果を検証した。さらに大豆については、カリ資材として本県で産出される大谷石の有効性についても検証した。

II 材料および試験方法

1. 大豆における移行係数の解析と吸収抑制技術の開発

2011 年産栃木県産大豆のモニタリング検査で子実放射性セシウム濃度が比較的高く検出された那須塩原市の現地圃場において 2013~2014 年度に実施した(2 か年とも圃場は異なる)。土壌タイプは表層腐植質多湿黒ボク土である。大豆品種は、2013 年度は県の奨励品種「タチナガハ」を、2014 年度は「里のほほえみ」をそれぞれ供試した。地域慣行施肥区を対照とし、カリ増施区を設けた。なお、増施区のカリ資材は硫酸カリを使用した。カリ増施区は、2013 年度は $35,45,55\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ を、2014 年度は $30,50,70\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ を目標として施用した。さらに大谷石粉末(2mm 篩

別後、篩い下のものを使用)を 30000kg ha^{-1} 施用した区を設定した(硫酸カリは無施用)。硫酸カリや大谷石粉末の施用後に、基肥として、2013 年度は高度化成(14-14-14) 40kg ha^{-1} 、2014 年度は高度化成(13-13-13) 10kg ha^{-1} をそれぞれ施用した。土壌の採土深は 20cm とした。大豆の形態、収量、子実の放射性セシウム濃度、土壌中の交換性カリ含量および水抽出性カリ含量(水抽出性カリ含量は 2014 年度のみ実施)を調査した。水抽出性カリ含量の分析は、土壌を風乾、篩別後、固液比 1:10 で、120 回/分×1 時間振とうにより水抽出を行い、抽出液中のカリ含量を測定した。大谷石粉末中の水抽出性カリ含量も同様の方法で行った。

2. そばにおける移行係数の解析と吸収抑制技術の開発

2012 年産栃木県産そばのモニタリング検査で子実放射性セシウム濃度が比較的高く検出された日光市の現地圃場において 2013 年度に実施した。土壌タイプは厚層多腐植質多湿黒ボク土である。そば品種は地域の在来品種「とちぎ在来」を供試した。地域慣行施肥区を対照とし、試験区としてそれぞれ $40, 50\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ を目標に硫酸カリの増施区を設けた。土壌の採土深は 20cm とした。そばの形態、収量、子実の放射性セシウム濃度および土壌中の交換性カリ含量を調査した。

III 結果

1. 大豆における移行係数の解析と吸収抑制技術の開発

2013~2014 年度における栽培前の試験圃場の土壌の放射性セシウム濃度は $1951\sim 2513 \text{ Bq kg}^{-1}$ 、交換性カリ含量は $19.8\sim 21.0\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ であった(第 1~3 表)。栽培期間中にも採土を行った 2014 年度における栽培期間の土壌中

1) 現栃木県農業環境指導センター, 2) 現栃木県畜産振興課, 3) 現栃木県生産振興課

の交換性カリ含量は、カリ施用直後の播種時が最も高く、その後栽培時期の経過とともに低下したが、カリ増施肥は慣行区に比べ交換性カリ含量が高く推移した(第1図)。一方、大谷石粉施用区の交換性カリ含量は栽培期間を通じて高く、カリ増施肥区と比較し低下の程度が小さかった(大谷石粉の化学性及び放射性セシウム濃度は第4表を参照)。栽培期間中の土壌中の水抽出性カリ含量は、交換性カリ含量と同様にカリ施用直後の播種時が最も高く、その後栽培期間の経過とともに低下した(第2図)。一方、大谷石粉施用区の水抽出性カリ含量は、施用初期から他のカリ施用区より低く推移し、時期によっては慣行区より低い場合があった。大豆の主莖長、節数、莖径、子実重および百粒重には、カリおよび大谷石粉施用による差は認められなかった(第6、7表)。大谷石粉施用区を除く子

実の放射性セシウム濃度は8.4~33.1Bqkg⁻¹(水分15%換算)の範囲で、土壌中の交換性カリ含量が高いほど子実の放射性セシウム濃度が低くなる傾向であり、カリ増施肥による放射性セシウムの子実への移行低減効果が認められた(第3~6図)。移行係数は、2013年度と比べ2014年度が全体的に低くなった。播種時および収穫時の土壌中の交換性カリ含量と水抽出性カリ含量の相関は高く(第7、8図)、水抽出性カリ含量が高いほど移行係数は低減された(第9、10図)。一方、大谷石粉施用区は交換性カリ含量が高いにも関わらず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見られるなど、結果にバラツキが生じた(第3~6図)。この現象は、試験を実施した2か年を通じて見られた。

第1表 供試土壌(栽培前)の化学性および放射性セシウム濃度(2013年大豆現地試験)

| pH | CEC cmol _c kg ⁻¹ | 交換性塩基 mg100g ⁻¹ | | | 放射性Cs濃度 Bqkg ⁻¹ | | |
|-----|-------------------------------------------|----------------------------|------|------------------|----------------------------|-------|------|
| | | CaO | MgO | K ₂ O | Cs134 | Cs137 | 計 |
| 5.7 | 29.1 | 300.3 | 21.4 | 21.0 | 855 | 1659 | 2513 |

※ 土壌の放射性Cs濃度は水分0%換算値

第2表 大豆子実および収穫時土壌の交換性カリおよび放射性セシウム濃度(2013年大豆現地試験)

| 処理 | 子実放射性Cs濃度 | 交換性K ₂ O mg100g ⁻¹ | 土壌放射性Cs濃度 | | 移行係数 |
|----------------------------------|--------------------|---------------------------------------------|-----------|--------------------|-------|
| | Bqkg ⁻¹ | | Cs濃度 | Bqkg ⁻¹ | |
| 慣行施肥(無処理) | 33.1 a | 27.1 | 2164 | | 0.015 |
| カリ増施肥(35mg100g ⁻¹ 目標) | 18.4 b | 26.6 | 2130 | | 0.009 |
| カリ増施肥(45mg100g ⁻¹ 目標) | 17.7 b | 32.7 | 1714 | | 0.010 |
| カリ増施肥(55mg100g ⁻¹ 目標) | 17.9 b | 37.3 | 2037 | | 0.009 |
| 大谷石粉300kg ^a | 50.5 | 115.5 | 1577 | | 0.032 |
| 有意性(分散分析) | ** | | n.s. | | |

※子実の放射性Cs濃度は水分15%換算値、土壌の放射性Cs濃度は水分0%換算値

※分散分析および多重比較は大谷石区を除き検定を行った

※多重比較はTukey法により異なるアルファベットの間に有意差がある

第3表 供試土壌(栽培前)の交換性カリおよび放射性セシウム濃度(2014年大豆現地試験)

| pH | 交換性K ₂ O mg100g ⁻¹ | 放射性Cs濃度 Bqkg ⁻¹ | | |
|-----|---------------------------------------------|----------------------------|-------|------|
| | | Cs134 | Cs137 | 計 |
| 5.7 | 19.8 | 508 | 1442 | 1951 |

※ 土壌の放射性Cs濃度は水分0%換算値

第4表 試験に供試した大谷石粉の化学性および放射セシウム濃度(2014年度大豆現地試験)

| pH | CEC cmol _c kg ⁻¹ | 交換性塩基 mg100g ⁻¹ | | | 水溶性K ₂ Omg100g ⁻¹ | 放射性Cs濃度 Bqkg ⁻¹ | | |
|------|-------------------------------------------|----------------------------|-----|------------------|-----------------------------------------|----------------------------|-------|------|
| | | CaO | MgO | K ₂ O | | Cs134 | Cs137 | 計 |
| 10.0 | 118 | 280 | 2 | 363 | 7 | N.D. | N.D. | N.D. |

※ 検出限界:3.7Bqkg⁻¹

第5表 大豆子実および収穫時土壌の交換性カリおよび放射性セシウム濃度 (2014年大豆現地試験)

| 処理 | 子実放射性Cs濃度 | 交換性K ₂ O | 土壌放射性Cs濃度 | 移行係数 |
|---------------------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------|
| | Bqkg ⁻¹ | mg100g ⁻¹ | Bqkg ⁻¹ | |
| 慣行施肥(無処理) | 22.4 a | 20.5 a | 2157 | 0.010 a |
| カリ増施(30mg100g ⁻¹ 目標) | 15.5 ab | 22.8 ab | 1985 | 0.008 a |
| カリ増施(50mg100g ⁻¹ 目標) | 8.4 b | 27.8 bc | 2022 | 0.004 b |
| カリ増施(70mg100g ⁻¹ 目標) | 9.8 b | 29.6 c | 2128 | 0.005 b |
| 大谷石粉300kga ⁻¹ | 21.2 | 61.1 | 2027 | 0.012 |
| 有意性(分散分析) | * | * | n.s. | ** |

※子実の放射性Cs濃度は水分15%換算値, 土壌の放射性Cs濃度は水分0%換算値

※分散分析および多重比較は大谷石区を除き検定を行った

※多重比較はTukey法により異なるアルファベット間には有意差がある

第6表 大豆の形態および収量調査結果 (2013年度大豆現地試験)

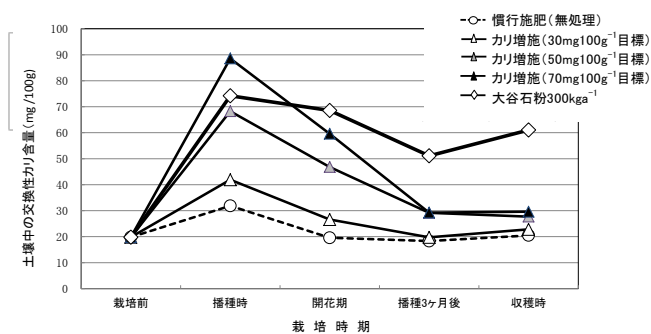
| 処理 | 主茎長 cm | 節数 | 子実重 kgha ⁻¹ | 百粒重 g |
|---------------------------------|-----------|------|---------------------------|----------|
| 慣行施肥(無処理) | 49 | 13.5 | 4450 | 35.4 |
| カリ増施(35mg100g ⁻¹ 目標) | 51 | 13.2 | 4620 | 36.4 |
| カリ増施(45mg100g ⁻¹ 目標) | 48 | 13.7 | 4370 | 35.9 |
| カリ増施(55mg100g ⁻¹ 目標) | 46 | 13.1 | 4310 | 35.8 |
| 大谷石粉300kga ⁻¹ | 50 | 13.8 | 4540 | 35.0 |
| 有意性(分散分析) | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |

※子実重および百粒重は水分15%換算

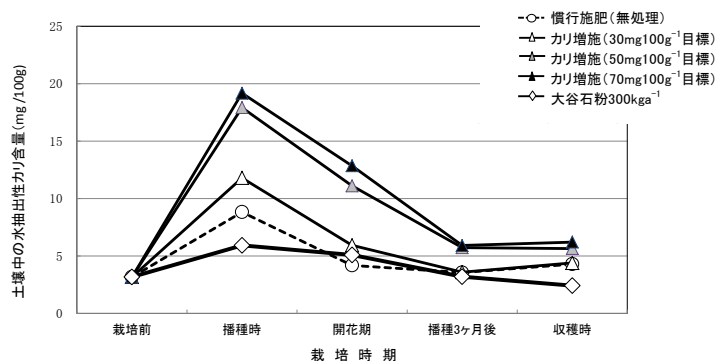
第7表 大豆の形態および収量調査結果 (2014年度大豆現地試験)

| 処理 | 主茎長 cm | 節数 | 子実重 kgha ⁻¹ | 百粒重 g |
|---------------------------------|-----------|------|---------------------------|----------|
| 慣行施肥(無処理) | 68 | 13.3 | 3850 | 44.9 |
| カリ増施(30mg100g ⁻¹ 目標) | 64 | 12.9 | 3840 | 43.9 |
| カリ増施(50mg100g ⁻¹ 目標) | 66 | 13.0 | 4000 | 43.6 |
| カリ増施(70mg100g ⁻¹ 目標) | 64 | 13.3 | 3910 | 44.0 |
| 大谷石粉300kga ⁻¹ | 66 | 13.8 | 3890 | 44.2 |
| 有意性(分散分析) | n.s. | n.s. | n.s. | n.s. |

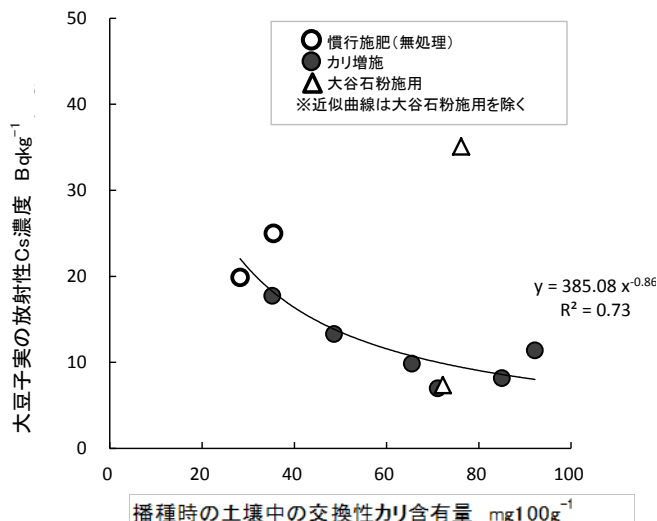
※子実重および百粒重は水分15%換算



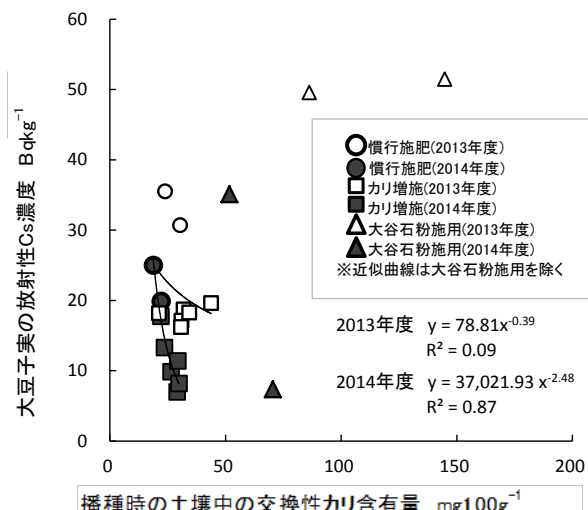
第1図 大豆栽培前～収穫時の土壌中の交換性カリ含量の推移 (2014年度大豆現地試験)



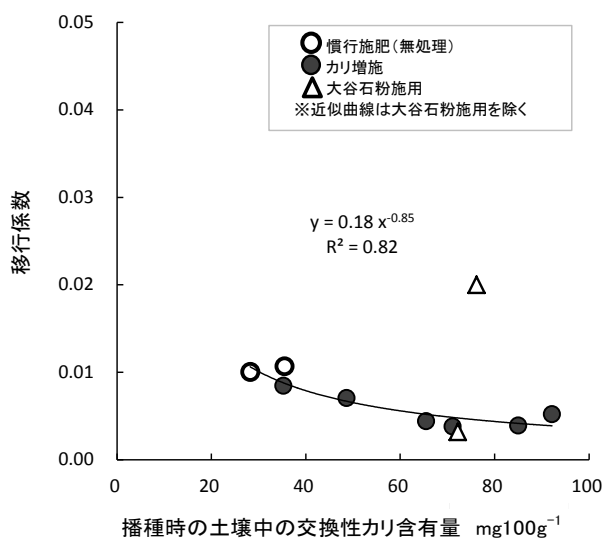
第2図 大豆栽培前～収穫時の土壌中の水抽出性カリ含量の推移 (2014年度大豆現地試験)



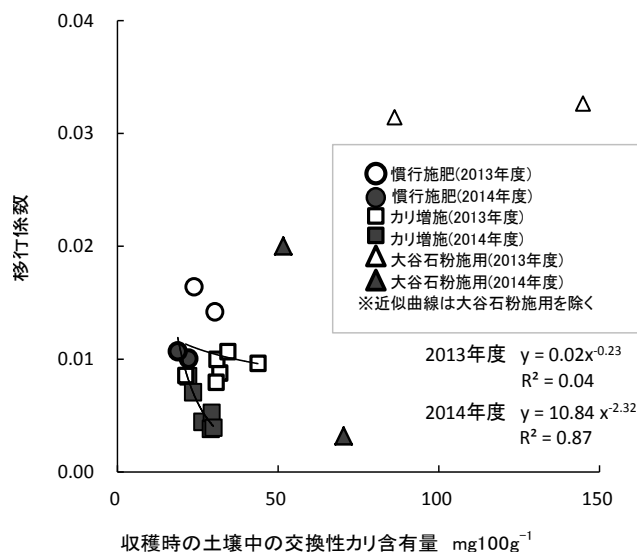
第3図 大豆播種時の土壤中の交換性カリ含量と大豆子実の放射性セシウム濃度との関係 (2014年度大豆現地試験)



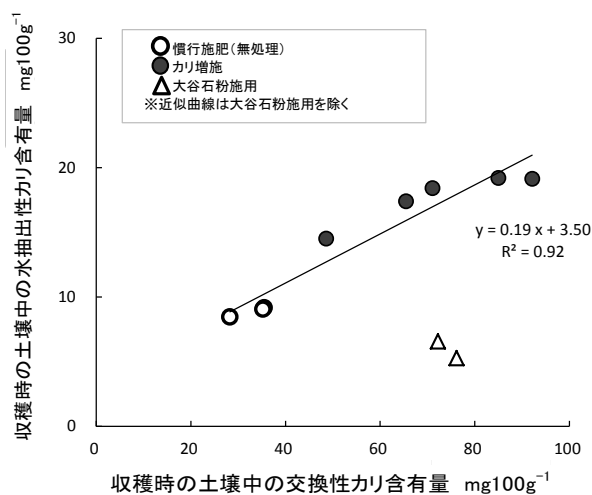
第4図 大豆収穫時の土壤中の交換性カリ含量と大豆子実の放射性セシウム濃度との関係 (2013, 2014年度大豆現地試験)



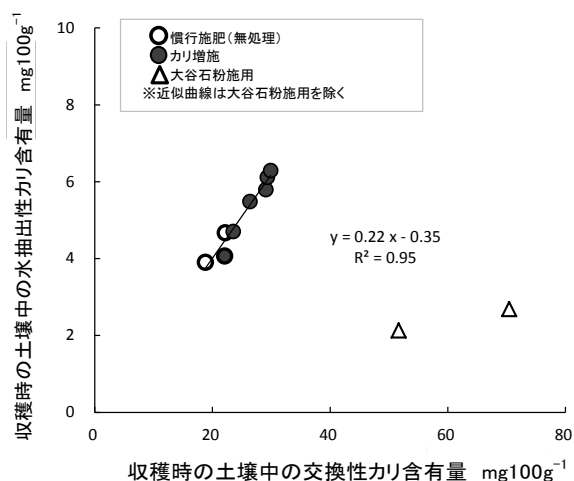
第5図 大豆播種時の土壤中の交換性カリ含量と大豆子実の放射性セシウムの移行係数との関係 (2014年度大豆現地試験)



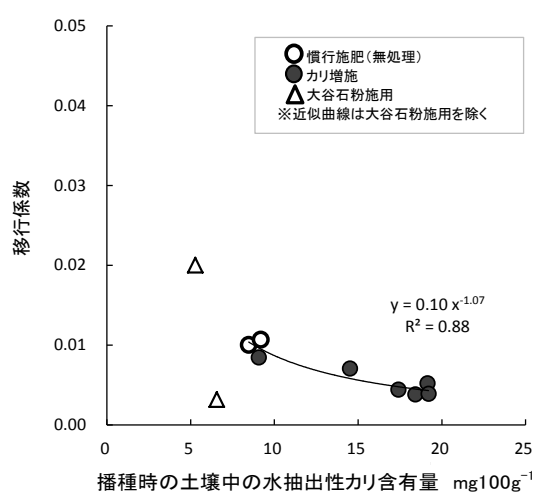
第6図 大豆収穫時の土壤中の交換性カリ含量と大豆子実の放射性セシウムの移行係数との関係 (2013, 2014年度大豆現地試験)



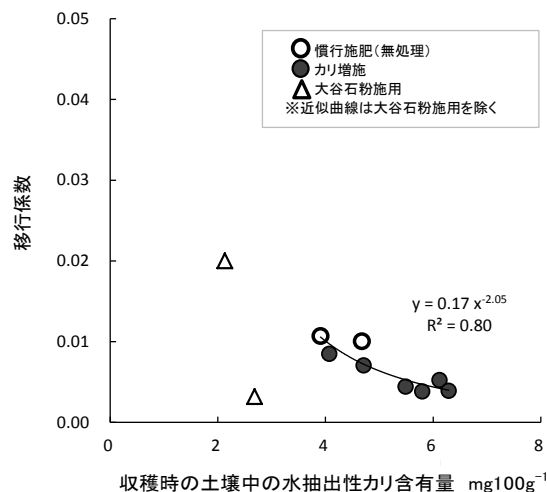
第7図 大豆播種時の土壌中の交換性カリ含量と水抽出性カリ含量との関係
(2014年度大豆現地試験)



第8図 大豆収穫時の土壌中の交換性カリ含量と水抽出性カリ含量との関係
(2014年度大豆現地試験)



第9図 大豆播種時の土壌中の水抽出性カリ含量と大豆子実の放射性セシウムの移行係数との関係
(2014年度大豆現地試験)



第10図 大豆収穫時の土壌中の水抽出性カリ含量と大豆子実の放射性セシウムの移行係数との関係
(2014年度大豆現地試験)

第8表 供試土壌(栽培前)の化学性および放射性セシウム濃度
(2013年そば現地試験)

| pH | CEC cmol _c kg ⁻¹ | 交換性塩基 mg100g ⁻¹ | | | 放射性Cs濃度 Bqkg ⁻¹ | | |
|-----|-------------------------------------------|----------------------------|------|------------------|----------------------------|-------|-----|
| | | CaO | MgO | K ₂ O | Cs134 | Cs137 | 計 |
| 5.6 | 35.2 | 378.1 | 22.9 | 26.8 | 306 | 561 | 867 |

※ 土壌の放射性Cs濃度は水分0%換算値

第9表 そば子実および収穫時土壌の交換性カリおよび放射性セシウム濃度 (2013年そば現地試験)

| 処理 | 子実放射性Cs濃度 Bqkg ⁻¹ | 交換性K ₂ O mg100g ⁻¹ | 土壌放射性Cs濃度 Bqkg ⁻¹ | 移行係数 |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------|-------|
| 慣行施肥(無処理) | 13.7 | 20.6 b | 740 ab | 0.019 |
| カリ増施(40mg100g ⁻¹ 目標) | 7.0 | 87.2 ab | 536 b | 0.013 |
| カリ増施(50mg100g ⁻¹ 目標) | 7.1 | 33.8 a | 749 a | 0.009 |
| 有意性(分散分析) | n.s. | * | * | n.s. |

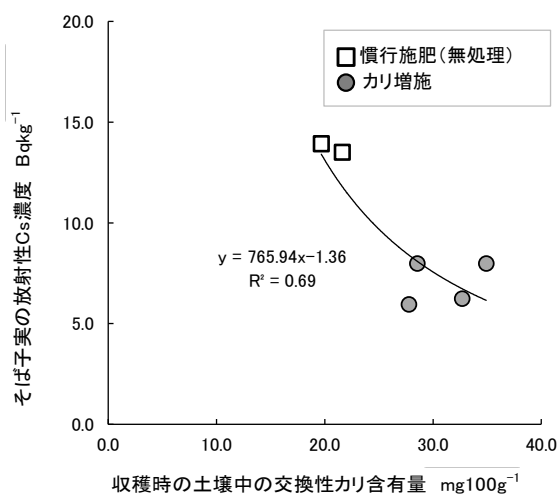
※子実の放射性Cs濃度は水分15%換算値, 土壌の放射性Cs濃度は水分0%換算値

※多重比較はTukey法により異なるアルファベット間は有意差がある

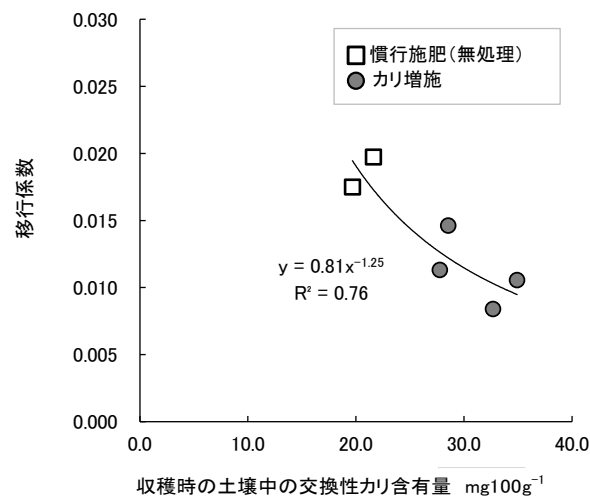
第10表 そばの形態および収量調査結果 (2013年度そば現地試験)

| 処理 | 主茎長 cm | 子実重 kg/ha ⁻¹ | 千粒重 g |
|---------------------------------|-----------|----------------------------|----------|
| 慣行施肥(無処理) | 136 | 640 | 36.9 |
| カリ増施(40mg100g ⁻¹ 目標) | 138 | 610 | 36.5 |
| カリ増施(50mg100g ⁻¹ 目標) | 124 | 650 | 36.6 |
| 有意性(分散分析) | n.s. | n.s. | n.s. |

※子実重および千粒重は水分15%換算



第11図 そば収穫時の土壌中の交換性カリ含量とそば子実の放射性セシウム濃度との関係 (2013年度そば現地試験)



第12図 そば収穫時の土壌中の交換性カリ含量とそば子実の放射性セシウムの移行係数との関係 (2013年度そば現地試験)

2. そばにおける移行係数の解析と吸収抑制技術の開発
栽培前の試験圃場の土壌の放射性セシウム濃度は 867 Bqkg⁻¹, 交換性カリ含量は 26.8mg 100g⁻¹であった。そばの主茎長, 子実重および千粒重には, カリ施用による差は認められなかった(第10表)。子実の放射性セシウム濃度

は 7.0~13.7Bqkg⁻¹の変動幅があり, カリ増施区では慣行区に比べ土壌中の交換性カリ含量が高いほど子実の放射性セシウム濃度が低く移行係数が小さくなり, カリ増施による放射性セシウムの子実への移行低減効果が認められた(第9表、第11、12図)。

IV 考察

大豆については、カリ増施により、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た。移行係数は2013年度と比べ2014年度が全体的に低くなった。カリ増施による大豆の生育や収量への影響はこの施用範囲ではないと考えられた。このため、大豆子実への放射性セシウムの吸収抑制技術としてカリ施用(硫酸カリ)は有効な技術であると考えられた。土壌中の交換性カリ含量と水抽出性カリ含量の相関は高かったが、今回は表層腐植質多湿黒ボク土での結果であり、交換性カリ含量と水抽出性カリ含量の関係については異なる土壌タイプでの確認が必要であると考えられる。一方大谷石については、今回の試験の結果から施用による放射性セシウムの移行低減効果が認められない場合があった。大谷石を含む天然ゼオライトについては、保肥力等の土壌改良資材としての有効性について過去に研究がなされているほか(沼倉ら,1966, 坪田ら,1960)、水稻と小麦への大谷石施用により放射性ストロンチウムや放射性セシウムの吸収抑制に効果を示す報告がある(天正ら,1963)。東日本大震災の際に県内において大谷石で建造された多くの蔵や石塀等が倒壊し、がれきが多く発生したこと等もあり、大谷石粉の放射性セシウム吸収抑制資材としての有効性が期待されていた。放射性セシウム吸収抑制効果が認められなかった原因として、大谷石粉中の水溶性カリ含量が比較的少なく、栽培期間を通じて大谷石粉施用区の土壌中の水抽出性カリ含量がカリ増施区より低くなることが推測された。一方で最近になり、大谷石の主成分であるゼオライト施用による大豆や他の作物における移行低減効果がいくつか報告されているため、大谷石の放射性セシウムの移行低減効果についてはさらに詳細に検証する必要があると考えられる。

そばについても、カリ増施により、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た。さらに大豆と同様、カリ増施によるそばの生育や収量への影響はこの施用範囲ではないと考えられた。このため、そば子実への放射性セシウムの吸収抑制技術としてカリ施用(硫酸カリ)は有効な技術であると考えられた。

本県における近年のカリ施用を主とした放射性セシウム吸収抑制対策が功を奏し、県産そばのモニタリング検査においても子実の放射性セシウム濃度の検出下限値未満の割合が年々多くなってきているが、依然として一部地域で基準値未満ではあるが子実の放射性セシウム濃度が比較的高く検出される事例が見られる。今後特にこうした地域では引き続きカリ施用効果の経年変化を見てい

く必要があると考えられ、その結果を踏まえた吸収抑制対策を適正に実施していくことが重要であると考えられる。

最後に、福島第一原子力発電所事故から4年が経過し、放射性セシウムの壊変により土壌中放射性セシウム濃度が低下し、さらに土壌への吸着により可給性が低下する環境下であり、今後のカリ施用による吸収抑制対策のあり方についてはさらに検証していく必要があると考えられる。

謝辞

本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「農地等の放射性物質の除去・低減技術の開発」で行ったものであり、関係者各位に感謝申し上げます。また本研究を遂行するにあたり、試験圃場の管理並びに調査等には石川武、湯田利夫、上野栄一、柴田知生、阪井伸吉、加藤良克、武井昌彦、市川元紀、鈴木和吉、高橋聡の諸氏ならびにパート職員の皆様に多大なるご尽力をいただき、心から感謝の意を表す。

引用文献

- 沼倉正二・浅野岩夫・若生松兵衛(1966)水田に対するゼオライトの施用効果に関する研究(第1報). 宮城県農業試験場報告. 37: 45-78.
- 天正清・葉可霖・米沢成人・三井進午(1963)作物の放射性ストロンチウムおよびセシウム吸収に対する炭カル、鉍滓類、大谷石等の抑制効果. 日本土壤肥料学会講演要旨集. 9: 18.
- 栃木県農政部(2012)平成24年度稲麦大豆等生産推進資料: 161-170.
- 坪田五郎・宮脇謙三・三宅信・小川昭夫(1960)大谷石粉の農業的利用に関する研究(第1報). 栃木県農業試験場報告. 4: 35-56.