特集
2

食品の一次産品における環境汚染

農産物をめぐる重金属汚染の実態と動向

小 野 信 一*

キーワード：カドミウム、ヒ素、鉛、汚染土壌修復、農産物

1. わが国の農業環境の重金属汚染と歴史

重金属の正確な定義はないが、一般的には、比重が4～5以上の金属の総称ということになっている。このうち、土壌の汚染が問題になる重金属は、カドミウム (Cd)、銅 (Cu)、ヒ素 (As)、亜鉛 (Zn)、鉛 (Pb)、水銀 (Hg)、アンチモン (Sb)、クロム (Cr) などである。このような重金属による農業環境の汚染は図-1 のようになり、最終的には人間への被害につながる場合もある¹⁾。

重金属による土壌汚染は、そのほとんどが水系あるいは大気汚染を通じて発生し、ひとたび土壌が汚染されると、重金属を取り除くことは容易ではない。

わが国で、1970年に制定された「農用地の土壌

の汚染防止等に関する法律」で特定有害物質に指定されている重金属は、銅、カドミウム、ヒ素の3元素である。これまでに、これら3元素が引き起こした土壌汚染の主なものは次のようである。

足尾銅山から流出した銅によって渡良瀬川流域の水田や畑の土壌が汚染されたいわゆる足尾鉍毒事件は、明治時代の中期に起こり、わが国の公害問題の原点ともいわれている。また神通川流域に発生したイタイイタイ病の原因は、上流の神岡鉍山から神通川へ流出したカドミウムにあることが1968年に特定された。その後、全国のいくつかの場所で、上流に鉍山がある川の流域において農用地のカドミウム汚染が問題となってきた。また、亜鉛や銅の製錬所から出た排煙は、近隣の農用地の土壌をカドミウムで汚染して問題となった。九

(参考文献1) より)

図-1 農業環境における重金属汚染の流れ

The actual conditions and trend on heavy metal contamination in agricultural produce

* (独) 農業環境技術研究所土壌環境研究領域 Shin-ichi ONO

州や山陰地方にある一部の鉱山から排出されたヒ素は、鉱山周辺の農地の土壌を汚染して水稻の生育に、また井戸水などを通じて人の健康に被害を及ぼした。

環境省（以前は環境庁）では、農用地の土壌に含まれるこれら3元素の量および農作物中の濃度などの調査を続け、公害防除特別土地改良事業等の実施で、客土（汚染耕地に山土などの非汚染土壌を上乗せする工法）による対策事業を実施している。現在、農用地の汚染がもっとも問題となっている重金属はカドミウムで、その汚染対策が急がれている。

2. カドミウム汚染の現状と対策

2.1 カドミウムのリスク管理に関する内外の動向

カドミウムは植物にとって必須元素ではないが、作物の種類によっては根から吸収したカドミウムを可食部まで移動させるものがある。1968年にイタイイタイ病とカドミウム汚染の関係が指摘され、当時の厚生省（現 厚生労働省）は、1970年に食品衛生法に基づく食品・添加物等の規格基準を改正し、玄米に含まれるカドミウムは 1.0mg kg^{-1} 未満でなければならないとした。いっぽう当時の食糧庁は1970年に、玄米のカドミウム濃度が 1.0mg kg^{-1} 以上のものについては政府買入れの対象としないこと、 1.0mg kg^{-1} 未満のもので政府買入れ対象となった玄米でも、 0.4mg kg^{-1} 以上のものについては非食用として処理（工業用の糊などに利用）する方針を決めた。その後1971年に「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律」が施行され、これ以後、玄米のカドミウム濃度が 1.0mg kg^{-1} 以上となる水田を対象に客土による対策事業が実施されている。

環境省の調査では、これまでにカドミウム汚染地域として指定された農地は全国で6,000 haを超え、このうち現在までに80%以上で対策事業が完了し、さらに残りの農地についても、続けて対策事業が実施されている。

1990年代になって、国際的にカドミウムの食品汚染が問題視されるようになり、1998年にはCodex（FAO/WHO 合同食品規格委員会）において農産物のカドミウムの濃度に関する予備的な原案が提案された。

表 Codex で設定されたカドミウムの国際基準値

食品群	基準値 (mg kg^{-1})	備 考
精 米	0.4	
小 麦	0.2	
根菜、茎菜	0.1	セロリアック、ばれいしょを除く
ばれいしょ	0.1	皮を剥いたもの
豆 類	0.1	大豆を除く
葉 菜	0.2	
その他の野菜 (鱗茎類、アブラナ科野菜、ウリ科野菜、その他果菜)	0.05	食用キノコ、トマトを除く

その後、毎年審議が繰り返され、2005年7月の総会で小麦、ばれいしょ、豆類、野菜類の基準値案が採択された。また2006年7月にスイスのジュネーブで開催されたCodex 総会で精米の基準値を 0.4mg kg^{-1} とすることが採択された。これまでの審議の結果、Codex で採択された農産物のカドミウム基準値は表に示したとおりである。

2.2 農耕地土壌におけるカドミウムの由来

2.2.1 旧鉱山や製錬所による環境汚染

かつてわが国では、多くの非鉄金属鉱山で銅や亜鉛の採掘が盛んに行われた。以前は、銅や亜鉛の原鉱石に付随して出て来るカドミウムは、選鉱過程あるいは製錬過程で排除されて鉱毒水や排煙として環境中に放出された。この放出されたカドミウムが水や風に運ばれて農地へ混入し、耕地土壌を汚染したのである。これが今日問題となっている農耕地の主要なカドミウム汚染経路であり、農作物の汚染にもつながっている。このような農地の土壌汚染は、都市汚染などに比べるとその濃度は高くはないが、汚染面積が広いという特徴があり、修復のための対策が困難である。なお、以上のような鉱山や製錬所が原因となる土壌の汚染は、その後の厳しい規制と管理によって、新たな負荷が発生することはほとんどなくなっている。

2.2.2 化学肥料に少量含まれるカドミウム

リン鉱石にはカドミウムなどの金属元素が含まれる。このため過リン酸石灰およびそれを原料と

した化成肥料には少量のカドミウムが含有されている。肥料取締法では、可溶性リン酸、水溶性リン酸、く溶性リン酸の1.0%につき0.00015%以上のカドミウムが含まれてはならないと規制されている。なお、肥料由来のカドミウムが作物に吸収される量はきわめて微量なので²⁾、これが農産物の汚染につながることは、ほとんどないとみてよい。

問題は、化学肥料を長年にわたって連用した場合の、土壌へのカドミウムの蓄積である。これまでの調査では、水田ではほとんど蓄積は認められていないが、飼料作物を長期間にわたって栽培した草地土壌においては蓄積の傾向が認められている³⁾。

2.2.3 有機質肥料とカドミウム

有機質肥料では、汚泥肥料にカドミウムをはじめいくつかの重金属が含まれることが多い。肥料取締法では、汚泥肥料は普通肥料として分類され、カドミウムの含有量は0.0005%以下に規制されてきた。2002(平成14)年に肥料取締法が改正され、普通肥料の中に「特定普通肥料」の新区分が設けられた。この区分は「施用方法によっては、人畜に被害を生じるおそれのある農産物が生産されるものとして制令で定める普通肥料」となっており、汚泥肥料ばかりでなく他の有機質肥料も含まれる可能性を示している。農耕地に施用される有機質肥料には、由来不明のカドミウムが時折検出される場合もあるからである。

2.2.4 灌漑水、雨水のカドミウム

河川水は、上流に鉱山があったり、また水質のpHが低かったりするとカドミウム濃度が上昇する傾向にある⁴⁾。水質汚濁防止法では、カドミウムの水質基準を 0.01mg l^{-1} 以下に規制している。しかし、一般の灌漑水に使用されている河川水のカドミウム濃度(バックグランド濃度)は 0.00005mg l^{-1} 程度で、規制値よりはかなり低い。

雨水も低濃度ではあるが、カドミウムを含んでいる。最近の測定結果によると、雨水のカドミウム濃度は年次による変動や季節による変動が認められる。また雨水を通じて農耕地に負荷されるカドミウム量を計算すると、 650mg ha^{-1} 程度となり、水田では一般河川の灌漑水を通じて負荷されるカドミウム量より大きな値となった⁵⁾。

2.3 カドミウム汚染土壌の修復技術

2.3.1 客土による修復

客土は、非汚染土壌の投入により、汚染土壌から水稻根を遠ざけることをねらった土木工法であり、その効果は大きい。しかし、客土の厚さが薄い場合には、水稻根が汚染土壌まで多く到達するため、そのカドミウム吸収低減効果は小さくなる。これまでに実施された試験によると、土壌、工法や環境によって異なるが、客土の厚さは20~40cmは必要とされている。また、深耕して汚染土壌が混入したり、あるいは灌漑水のカドミウム濃度が高い場合には、客土効果の持続性に低下がみられることもある。

水稻のカドミウム吸収低減に対する客土の効果は大きいですが、問題点も多く指摘されている。まずは経費上の問題である。客土工事の単価は高額であり、原因者負担や国庫補助が十分なければ工事はできない。つぎに、客土材の確保が難しいという問題がある。粘土を適量に含んだ良質の客土用山土を多量に得ることは、最近では容易でない。また、客土施工に伴う地力低下の問題がある。客土に使う山土は有機物に乏しい痩せ土の場合が多いので、多量の堆肥などを長年連用し続けて地力を向上しなければならない。さらに、上乗せ客土の場合は、田面の上昇によって、畦畔のかさ上げや灌排水設備の改修などの問題も生じる。廃土客土では、取り除いた汚染土壌の処分の問題が生じる。

2.3.2 ファイトレメディエーション

土壌中のカドミウムを効率的に吸収する植物があることが、以前から知られている。たとえば、キク科のセイタカアワダチソウやアブラナ科のゲンバイナズナはカドミウムの吸収量が多いといわれている。また最近では、イネ科のソルガムやアオイ科のケナフなどもその例として挙げられている。これらの植物をカドミウムで汚染された耕地に栽培すれば、土壌からカドミウムを吸収除去することができる。この技術は、現在ではファイトレメディエーション(Phyto-remediation)と呼ばれ、環境にやさしい土壌修復技術として注目されている。

最近、(独)農業環境技術研究所では、インド系品種や日・印交雑品種においてカドミウムの吸収量が多い水稻があることを見だし、ファイトレ

図-2 カドミウム汚染土壌のイネによるファイトレメディエーション

メディエーションへの利用を研究している⁶⁾。水稻は、栽培や収穫において従来の稲作技術がそのまま適用できるという利点があり、現地への導入が容易な植物と考えられる⁷⁾。

ファイトレメディエーションのために栽培した植物は、収穫→搬出→焼却というシステムに乗せることにより（図-2）、焼却灰中のカドミウムを回収することができる⁸⁾。

2.3.3 土壌の化学洗浄法

土壌を塩化第二鉄のような資材と水で洗浄して、土壌に吸着されたカドミウムを追出す方法がある。洗浄後の田面水に溶け出したカドミウムは、ポンプで吸い取られて濾過装置を通過した後、キレート樹脂などにより回収される。一連の洗浄工程は、図-3に示したとおりである。洗浄後の圃場では、水稻の生育に問題が生じることはなく、玄米のカドミウム濃度は確実に低減する⁹⁾。

3. 鉛、ヒ素汚染について

3.1 鉛の汚染

鉛に関しては、1970年代まで使用されていた有鉛ガソリンの排気ガス中の鉛が道路沿いの土壌汚染の主要な汚染源であることが、鉛同位体比の研究から明らかにされている。またその他の鉛汚染源として、非鉄金属の燃焼、肥料、除草剤、殺虫剤、下水汚泥の施用などが挙げられている。農作物の分析結果では、玄米で低く、野菜ではやや高くなっている。土壌中の鉛濃度が高いと、そこで栽培した農作物の鉛濃度はやや高くなる傾向にあるが、その場合には根がもっとも高く、地上部とくに子実への移行は少ないようである。また葉菜類などの鉛汚染は、土壌から吸収されたものより大気からの沈着が多いとされている。このような土壌や農産物の鉛汚染の詳細については、既往の

図-3 カドミウム汚染土壌の化学洗浄の作業工程

総説¹⁰⁾にまとめられている。

3.2 ヒ素の汚染

土壌汚染防止法で定められた基準値以上のヒ素が検出された地域は全国で14地域(391ha)となっている。またこれら地域のうち、法に基づく対策地域として指定されたのは、7地域(164ha)である。指定地域は鳥根県の笹ヶ谷鉾山下流域・五十猛・左ヶ山、宮崎県の岩戸川流域土呂久、青森県の宿野部川、大分県の長谷緒、山口県の秋谷で、対策事業はすでに完了している。

最近、茨城県神栖市(旧神栖町)において有機ヒ素化合物を含む井戸水の飲用による中毒事件が発生した。これは、井戸水から高濃度に検出されたジフェニルアルシン酸(DPAA)およびビスジフェニルアルシンオキシド、フェニルアルソン酸が原因とされている。ジフェニルアルシン酸は通常自然界には存在せず、ジフェニルクロロアルシンおよびジフェニルシアノアルシンの分解産物と考えられるため、汚染源は旧日本軍の毒ガス兵器由来ではないかと考えられた。その後、掘削調査により高濃度のジフェニルアルシン酸を含むコンクリート様の塊が発見され、近年にジフェニルアルシン酸そのものが投入された可能性が高いことがわかった。神栖市の4ヶ所の水田の産米(平成16年産)からもジフェニルアルシン酸およびフェニルメチルアルシン酸(PMAA)が検出された¹¹⁾。16年産米の分析値に比べ微量であるが、17年産米でも2ヶ所の水田の産米から有機ヒ素が検出された。米の有機ヒ素汚染は井戸水を灌漑水に使用したためにおこったと考えられ、当該水田産の米は出荷が停止されている。また、神栖市の4ヶ所の水田の15年産米を常食していた人の生体試料からもフェニルメチルアルシン酸が検出されている。

4. 今後の問題点

わが国では、1980年ころよりNi-Cd(ニカド)電池の生産量が急増し、1993~1995年頃にピークに達した。このためわが国では、カドミウムの消費量が多く、例えば2000年度の日本でのカドミウム生産量は2,000t強、輸入量は4,000t前後で、合わせて6,000tが製造原料として用いられている。その内ニカド電池の消費量が90%以上を占めており、約5,400~5,500tくらいになる。ニカド電池の

約70%が輸出されたため、1年間に1,600から1,700tくらいが日本で流通した電池に含まれるカドミウムの量とみられる。リサイクル率からすると75~80%、すなわち1,200~1,300t yr⁻¹くらいが日本の環境を汚染する可能性があるとは推定される。

一方、家電製品の不法投棄は、年々増加しており、エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機の4品目だけでも175,000台にのぼるという(2003年環境省調査)。ニカド電池とそれを使った製品の投棄量は調査されてないが、農耕地周辺の里山や耕作放棄地にはかなりの投棄量があるものと推定される。これら不法投棄されたニカド電池からカドミウムが溶け出し、農耕地土壌を汚染する危険性は十分予想されることである。またカドミウム以外の重金属についても、汚染が懸念される。EU(欧州連合)は、電池製品からの環境汚染を危惧して、2003年に域内の電池を全回収する取り決めをした。わが国においても、早急な調査と汚染回避のための対策が必要である。

参考文献

- 1) 増島 博: 土壌汚染, 図説環境科学, (社)環境情報科学センター編, 朝倉書店 (1994)
- 2) 川崎 晃, 織田久男, 箭田(蕪木)佐衣子, 王 慎強: 肥料由来カドミウムの農地土壌への負荷量及び作物吸収量-ダイズ畑(1), 日本土壤肥料学会講演要旨集, 51: 187 (2005)
- 3) 樋口太重: 農耕地の重金属負荷と安全性の課題, 肥料年鑑, 50, 30-41 (2003)
- 4) 村山重俊: 水を媒体とする農耕地土壌への微量重金属元素の負荷量評価-特に, CODEXに係わるカドミウム・鉛と銅, 亜鉛を中心として-, 中部土壤肥料研究, 94号, 50-65 (2005)
- 5) 齋藤貴之: カドミウムの農耕地への降雨水からの負荷(第2報), 日本土壤肥料学会講演要旨集, 51: 186 (2005)
- 6) 村上政治ら: 畑条件で栽培するイネはカドミウム汚染水田の修復に最適である, 農業環境研究成果情報, 20, 8-9 (2004)
- 7) 杉山 恵・阿江教治: カドミウム汚染土壌に対するファイトレメディエーションの有用性と問題点, 第21回土・水研究会資料(農業環境技術研究所), 21, 8-14 (2004)
- 8) 谷口 彰: カドミウム汚染土壌の植物による修復, 第21回土・水研究会資料(農業環境技術研究所), 21, 15-20 (2004)
- 9) 牧野知之: 土壌洗浄法によるカドミウム汚染水田の修復, 農林水産技術研究ジャーナル, 29, 49-52 (2006)
- 10) 前島勇治, 川崎 晃: 鉛の土壌および農作物汚染に関する最近の研究動向, 日本土壤肥料学会誌, 第77巻1号, 119-124 (2006)
- 11) 荒尾知人: 土壌のヒ素汚染と作物による吸収, 第23回土・水研究会資料(農業環境技術研究所), 23, 14-18 (2006)