

コメ中のカドミウム濃度低減のための実施指針

平成23年8月

農林水産省消費・安全局

コメ中のカドミウム濃度低減のための実施指針 目次

I はじめに

II コメ中のカドミウム

- 1 カドミウムとは
- 2 コメ中のカドミウム

III 食品に含まれる汚染物質対策の基本的考え方

IV カドミウム低減対策

- 1 低減対策を講じるべき段階
- 2 低減対策の検討
- 3 低減対策の実施
 - (1) 対策を実施する範囲の絞込み
 - (2) 湛水管理を中心とする吸収抑制対策
 - ① 概要
 - ② 効果
 - ③ 対策に当たっての技術的留意事項
 - ④ 有効性の判断
 - (3) 植物浄化
 - ① 概要
 - ② 効果
 - ③ 対策に当たっての技術的留意事項
 - ④ 有効性の判断
 - (4) 客土対策
 - ① 概要
 - ② 効果
 - ③ 技術的問題点
 - (5) その他の対策技術について

V 今後の取組

参考資料 1

参考資料 2

I はじめに

我が国には、過去の鉱山開発等の結果として、カドミウム濃度の高いコメが生産される可能性の高い地域が存在する。また、

- ・ 我が国のカドミウム摂取量は、他国に比べてより高い傾向にあること
- ・ 食品衛生法に基づく、コメ中のカドミウムの基準が「1.0 ppm 未満」から「0.4 ppm 以下（玄米、精米）」に改正されたこと
- ・ コメを輸出する場合、各国や地域が定めている国内又は域内基準を満たす必要があること

等の理由から、コメ中のカドミウム濃度低減対策の重要性は依然として高い。また、各産地においては、それぞれの生産実態に応じた低減対策を講じることが必須である。

このため、農林水産省は、都道府県等が各地域の実態に応じて低減対策を指導、推進することを期待し、これまでの低減技術に関する研究開発や有効性評価の成果等を基に、農家に営農指導する立場にある者（普及指導員、行政担当者、営農指導員等）を対象として、コメ中のカドミウム濃度低減のための実施指針を作成した。

なお、本指針に記載した各低減技術の詳細な技術情報は、農林水産省が作成している既存の技術マニュアル等に記載されていることから、必要に応じてそれらの資料を参照されたい。

II コメ中のカドミウム

1 カドミウムとは

カドミウムは、全国の土壌に普遍的に存在する重金属である（表1）。

我が国では、土壌や降雨の特性から、土壌中のカドミウムが溶け出しやすい。また、廃鉱山に含有されているカドミウムや、鉱山や精錬所などの産業活動によって排出されたカドミウムが、大気や河川を經由して、一部地域の農地に蓄積したこと等により、農地のカドミウム濃度が高く、さらにはカドミウム濃度の高いコメが生

表1 自然環境中におけるカドミウムの存在状況

農地等平均濃度※	0.228 mg/kg
水田	0.300 mg/kg
畑	0.211 mg/kg
樹園地	0.291 mg/kg
林地	0.155 mg/kg

※ 0.1 mol/L 塩酸抽出によるカドミウム濃度（日本土壌協会，1984 を一部改変）

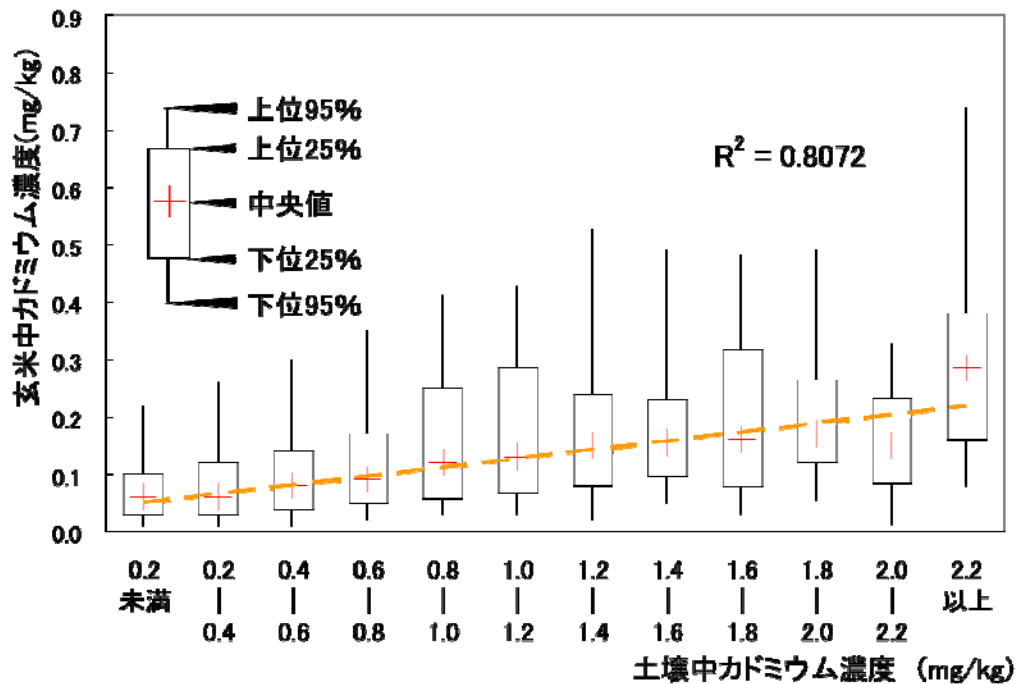
産される可能性の高い地域が存在する。

一定量以上のカドミウムを、食品を通じて数十年にわたり継続して摂取し続けると、腎臓（近位尿細管）の機能に悪影響を及ぼす可能性がある（参考資料1 参照）。

食品を通じた国民の平均的なカドミウム経口摂取量は、健康に悪影響が生じるレベルにはないが、欧米諸国における摂取量に比べると高い傾向にある。また、カドミウム濃度の高いコメを食べ続けた場合、カドミウム摂取量の高い状態が継続する可能性がある。

2 コメ中のカドミウム

水田土壌に存在するカドミウムは、水稻の生育過程で根を通じて吸収され、子実へ蓄積する。これまで、水田土壌中のカドミウム濃度が高いほど、コメ中のカドミウム濃度も高い傾向が観察されている（図1 参照）。



土壌とそこで生産された玄米中のカドミウム濃度データ(農林水産省調査結果)について、土壌中カドミウム濃度の階級に応じて、玄米中カドミウム濃度のデータをグループ化し、各グループにおける中央値と土壌中カドミウム濃度の階級との関係をグラフ化したもの。グラフから明らかなように、玄米中のカドミウム濃度は正規分布とは異なる分布を示す。

図1 土壌中のカドミウム濃度と玄米中のカドミウム濃度の関係

土壌に含まれるカドミウムの水稻への移行は、土壌の酸化還元電位や pH 等に左右される。このため、同じ水田であっても、気象状況や水管理等の栽培管理状態の違いによって、生産されたコメ中のカドミウム濃度は年によって変動することが観察されている。

また、玄米に含まれるカドミウムは、とう精や、洗米、炊飯過程を経ても、含有量はほとんど減少しないことが観察されている（表2及び表3参照）。ただし、米糠中のカドミウム濃度は、玄米及び精米と比較して高い傾向がみられた。

表2 原料玄米、精米及び米糠のカドミウム濃度*

(() 内は玄米中のカドミウム濃度に対する比率 (%))

品種	玄米 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	精米 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	米糠 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	とう精歩合 (%)
ヒノヒカリ	45.3 (100)	43.6 (96.2)	63.9 (141.1)	90.1
きらら397	63.5 (100)	62.6 (98.6)	90.4 (142.4)	88.7
ひとめぼれ	116.4 (100)	110.9 (95.3)	170.1 (146.1)	83.6
コシヒカリ	120.5 (100)	116.9 (97.0)	164.0 (136.1)	89.7
あきたこまち (試料1)	117.6 (100)	112.4 (95.6)	147.0 (125.0)	92.0
あきたこまち (試料2)	15.6 (100)	15.3 (98.1)	22.4 (143.6)	88.4

※ 2連から5連の分析の平均

出典：守山ら，食品衛生学雑誌，第44巻，第3号，p145-149，2003

表3 調理に伴う精米中のカドミウム濃度の変化

(() 内は精米時のカドミウム濃度に対する比率 (%))

品種	カドミウム濃度 ^{※2} ($\mu\text{g}/\text{g}$)		
	精米時	水洗後 ^{※3}	炊飯後 ^{※4}
チヨニシキ	0.064 \pm 0.003 (100)	0.060 \pm 0.001 (93.8)	0.063 \pm 0.003 (98.4)

※1 水洗後及び炊飯後の精米中のカドミウム濃度に有意差は認められない。

(5%有意水準、t検定)

※2：いずれも乾燥重量当たりの濃度

※3：精米 500 g にイオン交換水 2 l を加え自動洗米機で 1 分間洗米することを 2 回繰り返したもの

※4：水洗後の精米に重量比 1.4 倍のイオン交換水を加え 1 時間浸水させた後、電気炊飯器で炊飯したもの

出典：Kumiko Shindoh and Akemi Yasui, *Food Sci. Technol. Res.*, 9(2), 193-196, 2003

Ⅲ 食品に含まれる汚染物質対策の基本的考え方

食品を通じた汚染物質の摂取量を低減するためには、食品の生産、加工、流通、消費段階のうち適切な段階において、以下のような対策を講じ、食品が汚染されるのを防止、または低減することが有効である。

- ・ 排出抑制や除去により、食品の生産環境における汚染物質の濃度を下げる。
- ・ 有効性が確認された低減技術を導入し、食品の生産方法等を改善する。

これらの対策によって、食品に含まれる汚染物質の濃度分布が全体として低濃度側に移動し、結果として消費者の摂取量が低減される（図2参照）。

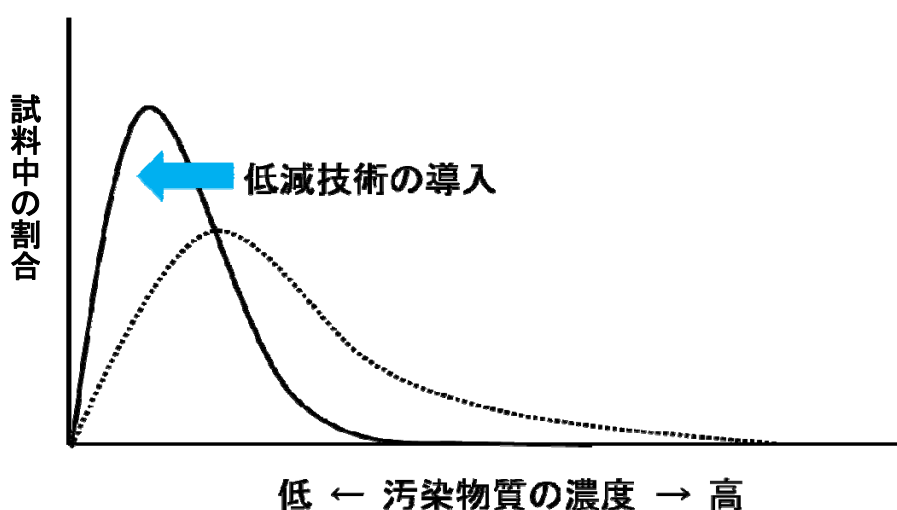


図2 低減技術による食品中汚染物質低減効果

コメ中のカドミウムの場合は、

- ① 土壌に含まれるカドミウムを除去し、水稻の生産環境におけるカドミウム濃度を下げる
- ② 水稻による土壌からのカドミウム吸収の抑制効果が確認された低減技術を導入し、水稻の栽培方法を改善する

のいずれかの対策を講じることが、コメ中のカドミウム濃度低減に有効である。

食品と汚染物質の組み合わせによっては、加工段階で汚染物質を除去することが可能であるが、そうでない場合には、生産段階における低減対策が重要となる。その際、食品に含まれる汚染物質の化学的な分解・除去は、食品に含まれる他成分が化学変化し安全でないものに変化するという可能性を科学的に否定できない限り、低減技術として用いるべきではない。

なお、基準値は、上記の対策が有効に機能しているかを確認するための有効な手段である。ただし、基準値を設定し、検査を行い、基準値を超過することが判明した食品を市場から排除するだけでは、一定濃度を超える汚染物質を含む食品が市場に流通することはある程度防止できるものの、

- ・ 濃度実態からみて低すぎる基準値では、排除される食品の量が増大
- ・ 抽出検査にならざるを得ないため、一定の確率で基準値を満たさない食品が流通する

等の問題が生じる可能性がある。

IV カドミウム低減対策

1 低減対策を講じるべき段階

カドミウムのコメへの移行特性等を考慮すると、カドミウム濃度を低減するためには、水田管理や水稲の栽培等の生産段階で、適用可能な低減対策を講じることが最も有効である。

なお、食品衛生法の基準値が 1.0 ppm 未満（玄米）から 0.4 ppm 以下（玄米、精米）に改正されたことに対応して、生産するコメ中のカドミウム濃度が 0.4 mg/kg を超える可能性のある地域では、その基準値を遵守できるよう、生産されるコメ中のカドミウム濃度に応じた低減対策を講じる必要がある。また、そうでない地域においても、低減対策を講じることが望ましい。

2 低減対策の検討

生産段階において、コメ中のカドミウム濃度を低減するためには、

- ① 土壤に含まれるカドミウムを除去し、水稲の生産環境におけるカドミウム濃度を下げる
- ② 水稲による土壤からのカドミウム吸収の抑制効果が確認された低減技術を導入し、水稲の栽培方法を改善する

のいずれかの対策を講じることが必要である。

現在、①の対策としては、「植物浄化」及び「客土」があり、②の対策としては、土壤の酸化還元電位等のコントロールによって水稲による土壤からのカドミウム吸収を抑制する「湛水管理を中心とする吸収抑制対策」がある。それぞれの対策の特徴を表 4 に整理した。

表4 主要なカドミウム低減対策の特徴

対策	低減効果	問題点	概算コスト (10 a 当たり)
植物浄化	土壌中のカドミウム濃度が 1 作当たり 10%程度低下	<ul style="list-style-type: none"> ・3-5 年必要 ・収穫した浄化植物の処理 	20-30 万円/年程度 (処分費用含む)
客土	土壌中のカドミウム濃度が 非汚染レベルまで低下	<ul style="list-style-type: none"> ・地域条件等によりコスト が増減 ・客土材の確保が困難 	500 万円/回程度
湛水管理を中心とする吸収抑制対策	通常栽培時に比べコメ中の カドミウム濃度が 60-90% 低下	<ul style="list-style-type: none"> ・用水の確保 ・土壌中の濃度は低減しない 	管理に係る人件費 (地域によっては用水費等が必要)

これらコメ中のカドミウム濃度低減対策の選択と実施についての基本的な手順は以下のとおり。

[低減対策が必要な範囲の特定]

過去に実施した調査結果から、コメ中のカドミウム濃度のデータを整理し、低減対策が必要な地域やほ場の範囲を特定する。

[低減対策を実施する範囲の絞り込み]

必要に応じて、低減対策を実施する範囲を絞り込む（3（1）参照）。

[吸収抑制対策の実施]

0.4 mg/kg を超える濃度でカドミウムを含むコメが生産されたことのあるほ場やその周辺のほ場、さらには、コメ中に 0.2 mg/kg～0.3 mg/kg 程度（参考参照）の濃度でカドミウムを含むコメが生産されたことのあるほ場では、基本的な低減対策として原則出穂前後各 3 週間にわたる湛水管理を中心とする吸収抑制対策（3（2）参照）を実施する。

[土壌浄化対策の実施]

吸収抑制対策を実施しても、コメ中のカドミウム濃度が十分に低減されない場合には、翌年以降、食用品種の栽培を中断するとともに、土壌浄化対策として植物浄化（3（3）参照）又は客土（3（4）参照）を実施する。

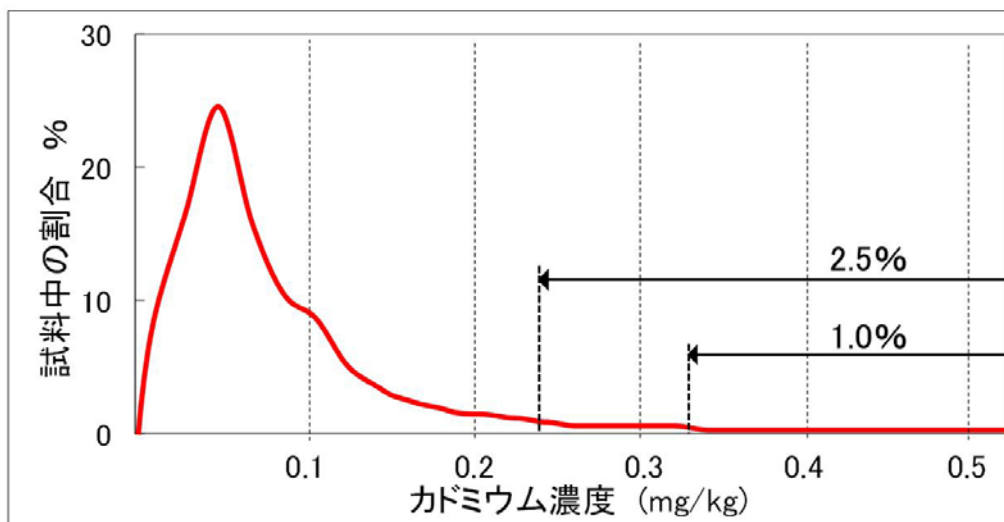
なお、各水田で実施する対策を選択する際には、

- ・ 生産されるコメ中のカドミウム濃度
- ・ 地域内で対策が必要な面積
- ・ 対策に要する期間とコスト

- ・ 農業用水上流側における排出源対策の必要性とそのコスト
 - ・ 対策に投入可能な予算
 - ・ 当該ほ場所有者の営農継続の意思
 - ・ コメ中のカドミウム問題に対する地域関係者の意見
- 等を総合的に勘案して判断する。

[参考]

過去に農林水産省が国産米中のカドミウム濃度を調査した結果を用いて濃度分布を調べたところ、下図のような低濃度側にピークがあって高濃度側に長い裾をもつ分布となった。



本分布を対数正規分布にモデル化し、高濃度側の上位 1.0%及び上位 2.5%のそれぞれ下限に相当する濃度を計算したところ、それぞれ 0.33 mg/kg、0.24 mg/kg であった。また、0.4 mg/kg は上位 0.5%の下限に相当する濃度であった。

なお、対数正規分布にモデル化したため、計算上、高濃度側の割合が実際の分布よりも大きくなっている。

3 低減対策の実施

(1) 対策を実施する範囲の絞込み

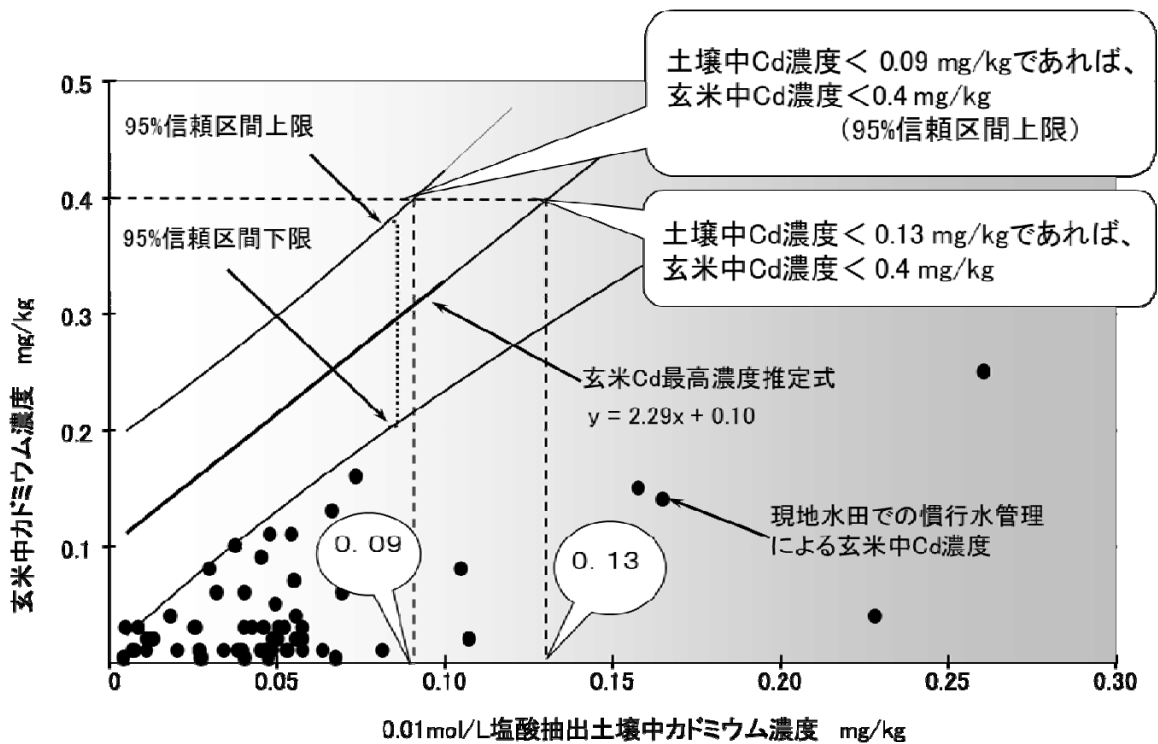
水稻へのカドミウムの移行は、土壌中のカドミウム濃度だけでなく、栽培時の土壌の酸化還元状態、土壌 pH、土壌中有機物含量等の水田土壌の物理化学的特性に大きく影響される。このため、低減対策が必要か否かは、基本的にコメ中のカドミウム濃度に基づいて判断する。

なお、低減対策が必要な地域やほ場の範囲の絞込みに活用できる情報*を既に有している地域では、低減対策の必要性の判断に当たってその情報も活用する。

※ 絞込みに活用できる情報の例

土壌の物理化学的特性（カドミウム濃度など）とそこで生産されたコメ中のカドミウム濃度のデータをもとにした両者の関係（以下の例を参照）

○土壌中のカドミウム濃度からコメ中のカドミウム濃度を推定した例



水稻吸収抑制対策技術マニュアル（三重県）を一部改変

出穂期以降、無湛水状態で栽培した水稻から得られた玄米中のカドミウム濃度を測定。その濃度と土壌中のカドミウム濃度の分析結果をもとに、水田土壌中のカドミウム濃度からそこで生産される玄米のカドミウム濃度の範囲を推定している。

(2) 湛水管理を中心とする吸収抑制対策

① 概要

吸収抑制対策は、主として「湛水管理」を活用したものである。ただし、資材投入による「pH 調整」を湛水管理と組み合わせて活用することも可能である。

「湛水管理」は、出穂期の前後3週間にわたり水田を湛水状態に保ち還元状態とすることで、土壌中のカドミウムを水に溶解しにくい化学的状态に変化させ、水稻が根からカドミウムを吸収することを抑制するものである（参考資料2参照）。

「pH調整」は、施肥により土壌のpHを中性に近づけ、土壌中のカドミウムを水に溶解しにくい化学的状态に変化させることにより、水稻が根からカドミウムを吸収することを抑制するものである。ただし、pH調整単独では十分な効果は期待できないため、湛水管理と組み合わせて実施することが望ましい。

② 効果

吸収抑制対策を実施すれば、玄米中のカドミウム濃度を60～90%程度引き下げることが可能であることが確認された（表5参照）。

表5-1 吸収抑制対策の効果（試験1）

水管理方法	玄米中カドミウム濃度 ^{※1} (mg/kg)	比率
通常の水管理	0.50 ^a	100%
湛水管理1 ^{※2}	0.08 ^b	16%
湛水管理2 ^{※3}	0.03 ^c	6%

水田土壌：中粗粒グライ土、カドミウム濃度：0.33 mg/kg (0.1 mol/L 塩酸抽出)

※1：3ヶ年の試験での平均値、異符号間には有意差あり（5%有意水準、Tukey法）

※2：出穂15日前から出穂後25日目までにあたって湛水管理を実施

※3：移植から出穂後25日目までにあたって湛水管理を実施

出典：稲原ら、日本土壌肥料学雑誌、第78巻、第2号、p149-155、2007

表5-2 吸収抑制対策の効果（試験2）

水管理方法	玄米中カドミウム濃度 ^{※1} (mg/kg)	比率
湛水なし ^{※2}	0.66	100%
湛水管理 ^{※3}	0.18	27%

カドミウム濃度2.4 mg/kg (0.1 mol/L 塩酸抽出)の灰色低地土を用いてポット栽培

※1：3ヶ年の試験での平均値であり、湛水管理によって玄米中カドミウム濃度が有意に低減（5%有意水準、t検定）

※2：出穂21日前から出穂後21日目までの間は間断かん水

※3：出穂21日前から出穂後21日目までにあたって湛水管理を実施

出典：京都府農業総合研究所資料

③ 対策に当たっての技術的留意事項

a 湛水管理

農業用水の不足や、水田の減水深が大きいこと等の理由から、出穂期の前後の期間に湛水状態が保たれない場合、コメ中のカドミウム濃度が上昇する。このため、湛水管理の実施に当たっては、必要な用水量を確保する必要がある。また、湛水管理は以下の点に注意して実施する。

- ✓ 水はけの悪い水田では、あらかじめ溝切りを実施し、水管理が簡単に行えるようにする。
- ✓ 強度の中干しはカドミウムの吸収を促進するため、中干しは、土が湿っていて足跡がつく程度の強度とし、実施期間も 7~10 日前後にとどめ、それ以上長く行わない。
- ✓ 出穂時期に農業用水の不足が懸念される地域や、土壌が乾燥しやすい気象条件下では、溝切り・中干し後は間断かん水を行うことなく連続して湛水管理を行う。中干し後に間断かん水を行う場合でも、土壌表面が乾燥するような水管理は行わない。
- ✓ 原則として出穂 3 週間前から出穂 3 週間後までは、常に水が張られた状態を保つ。
- ✓ 水持ちの悪い水田で湛水管理を行う場合は、作付け前(農閑期)に 10 a 当たり 1~2 トンのベントナイトを施用して床締めを行う。
- ✓ 落水時期は原則として出穂から 3 週間後以降とする。
- ✓ 収穫作業に支障を来す等の理由から落水時期を前倒しする場合は、過去に生産されたコメ中のカドミウム濃度や試験結果等をもとに、期待したコメ中のカドミウム低減効果が発揮される範囲で落水時期を設定する。

表 6 出穂後の落水時期と玄米中カドミウム濃度の関係

落水時期 ^{※1}	玄米中カドミウム濃度 ^{※2} (mg/kg)	比率
出穂当日	1.4 ^a	100%
出穂後 7 日目	1.3 ^a	93%
出穂後 14 日目	0.87 ^b	62%
出穂後 21 日目	0.49 ^c	35%

カドミウム濃度 0.78 mg/kg (0.1 mol/L 塩酸抽出) の細粒グライ土を用いてポット栽培

※1：出穂までは湛水状態で水稻を栽培

※2：異符号間には有意差あり (5%有意水準、Tukey 法)

出典：農林水産省行政対応特別研究「農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技

術等の開発に係る研究」(平成 12~14 年度)における成果

b pH 調整

- ✓ 施用する肥料としては、pH 調整効果が長期間持続するケイ酸カルシウム(ケイカル)、熔成りん肥等が推奨される。
- ✓ 肥料の施用量は、土壌の性質や施用する肥料の種類によって必要量が異なるので、事前に室内試験を行い、必要な施用量を定める。
- ✓ カルシウム肥料を投入しすぎた場合、微量元素の欠乏症や水稻後作物にアルカリ障害が発生する可能性があるため、投入量に注意する。

④ 有効性の判断

生産されたコメ中のカドミウム濃度を分析した結果、想定していたカドミウム濃度の低減効果が得られない場合は、吸収抑制対策は効果不十分と判断する。なお、以前に吸収抑制対策を実施したことがない地域では、3 年程度にわたって吸収抑制対策を実施した後、低減効果を検証することが望ましい。

吸収抑制対策のみでは効果が不十分と判断された場合、食用品種の作付けを中断するとともに、他の土壌浄化対策である植物浄化又は客土を実施する。また、農業用水の不足等の問題から、物理的に湛水状態の維持が困難な事態が生じた場合も、効果不十分と判断された場合と同様に対応する。

(3) 植物浄化

① 概要

植物浄化は、カドミウム吸収能が高い植物(以下「浄化植物」という。)を栽培し、土壌中のカドミウムを吸収した浄化植物を収穫した後カドミウムを大気等の環境中に拡散させずに回収可能な施設で焼却処理することにより、農地を浄化する対策である。現在、カドミウム吸収量が大きい稲品種を用いた技術体系が存在する。

② 効果

独立行政法人農業環境技術研究所を中心とした研究や各地での技術評価の結果から、適切に栽培管理を行えば、1 回の作付で土壌中のカドミウム濃度(0.1 mol/L 塩酸抽出)を 10%程度低下させることが可能である。表 7 に浄化植物を水田に複数年作付した際の効果の例を示す。

表 7 植物浄化の効果（浄化植物を複数年作付した結果）

	作付年数 ^{※1}	土壌中カドミウム濃度 (mg/kg, 0.1 mol/L 塩酸抽出)		低減率 ^{※2} (%)
		試験前	試験後	
試験 1	3 年	0.76	0.45 [†]	41
試験 2	2 年	0.89	0.58 [†]	35
試験 3	2 年	0.98	0.62 [†]	37

†いずれの試験においても土壌中カドミウム濃度が有意に低減（5%有意水準）

※1 浄化植物として稲（品種名：長香穀）を複数年作付

※2 低減率＝（試験前の土壌中カドミウム濃度－試験後の土壌中カドミウム濃度）/試験前の土壌中カドミウム濃度

出典：農林水産省委託プロジェクト「農林水産生態系における有害化学物質の総合管理技術の開発」（平成 15～19 年度）における成果（試験 1, 2）

M. Murakami et al. *Environ. Sci. Technol.* 2009, **43**, 5878-5883（試験 3）

③ 対策に当たっての技術的留意事項

浄化植物の生長が悪かった、農地の水分含量が低い状態を維持できなかった等の理由から浄化植物のカドミウム吸収量が低下した場合、土壌中のカドミウム濃度が十分に低下しない可能性がある。このため、本対策の実施においては、浄化植物のカドミウム吸収量を維持するための栽培管理を徹底する必要がある。

さらに、収穫後の浄化植物は、含まれているカドミウムを適切に回収することが可能な施設で焼却処理する必要がある。

このほか、以下の点に注意して実施する。

a 設計

- ✓ 用いる浄化植物は稲とする。その品種については、過去に農林水産省が行った試験結果等から、原則としてカドミウム吸収能が特に高く一定の効果が見込める「長香穀」、「IR-8」のいずれかを選定する。
- ✓ 過去に実施された類似条件における試験結果等を勘案した上で、①コメ中カドミウムの目標濃度、②土壌中カドミウムの目標濃度（0.1 mol/L 塩酸抽出）、③対策実施期間（②土壌中カドミウムの目標濃度及び過去の試験結果に基づく単年度カドミウム吸収量から算出）等の対策目標を設定する。

(設定例)

土壤中のカドミウム濃度の単年当たりの低減目標を 10%とした場合

- A 現在生産されるコメ中のカドミウム濃度
- B 現在の土壌中のカドミウム濃度 (0.1 mol/L 塩酸抽出)
- C コメ中カドミウムの目標濃度
- D 土壌中カドミウムの目標濃度 (0.1 mol/L 塩酸抽出) = $B \times C / A$
- E 対策実施期間 (年) = $(B - D) / B \times 10$ (小数点繰上)

b 栽培管理

- ✓ 代かきの回数は、過剰な漏水を避けつつ、均平性が維持できる程度に留める。
- ✓ 食用品種の作業時期と重ならないよう移植時期を調整したうえで適期栽培・収穫を図る。
- ✓ 細稈品種である長香穀については、倒伏の可能性を考慮し、過剰施肥とならないよう施肥量を調整する。
- ✓ 栽培期間中は、最高分げつ期までは通常の水管理を行い、それ以後は完全に水を落とす。落水後は、稲の生育に支障がない範囲で落水状態を維持するよう心がける。
- ✓ 排水不良田においては、乾田栽培も有効であるが、乾田栽培を行うと雑草が繁茂し、土壌中のカドミウム濃度低減効果が低下する可能性があるため、雑草の繁茂を防止するために畝間の間隔を通常の半分程度とする。
- ✓ 本技術で浄化植物として用いる稲は、栽培期間を通し土壌からケイ酸、マグネシウム、マンガンや鉄などの栄養成分も合わせて吸収することから、浄化植物を 3 回以上作付した場合は、そのバイオマス量低下に伴うカドミウム吸収量の低下が生じないように、必要に応じてこれら栄養成分を施用する。

c 浄化植物の収穫

- ✓ 収穫方法は、ほ場の排水性や収穫前後の天候条件を考慮し、基本的には「籾・ワラ分別予乾」方式、又は「籾・ワラ一体収穫」方式のいずれかで実施する。また、収穫に当たっては、カドミウム吸収効率を向上させるため、刈取高さが 5 cm 程度となるようにする。
- ✓ 長香穀は脱粒性が高いため、「籾・ワラ分別予乾」方式を採用する場合には、脱粒ロスをできるだけ小さくするため、また植物浄化対策実施後に普

通品種稲を作付けたときの雑穂発生を防止する観点からも糊熟期頃に収穫を行う。

- ✓ 収穫した浄化植物の含水率は、処理コスト（運搬等を含む。）に大きく影響することから、含水率が 40%程度になるまで現地で乾燥させた上で、搬出・運搬を行う。
- ✓ 収穫後の浄化植物は、含まれているカドミウムを適切に回収することができる施設で焼却処理を行う。

表 8 浄化植物の収穫方式とその概要

		I. 「籾・ワラ分別予乾」方式	II. 「籾・ワラ一体収穫」方式
作業概要		<ul style="list-style-type: none"> ・コンバインで籾を収穫し、稲ワラは細断せず、ほ場に刈り倒す。 ・稲ワラはほ場で数日間天日乾燥した後、ロールベアラーで回収・梱包し、トラックに積載・搬出する。 ・稲ワラの水分含量が十分低下しない等の理由からロールの即時搬出が困難な場合は、ほ場脇に並べたパレット上にロールを配置し、上部を透湿防水シートで覆った状態で在庫する。この際、ロール上部と透湿防水シートとの間に空間を設ける。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ホールクローブ収穫機又はフレール式コンバインベアラーにより籾と稲ワラを一体で収穫、ロール状に梱包する。 ・梱包したロールは、ほ場脇に並べたパレット上に配置し、透湿防水シートでロール上部を覆った状態で 1~2 ヶ月間乾燥させる。この際、ロール上部と透湿防水シートとの間に空間を設ける。 ・乾燥後のロールは、ラッピングマシーンでラップ、又はフレキシブルコンテナに詰めた後、トラックに積載・搬出する。
	特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・稲ワラの天日乾燥によって、梱包時の密度が向上し、処理コストを削減可能。 	<ul style="list-style-type: none"> ・収穫前後の天候が不順な地域でも収穫可能。 ・一定程度の倒伏にも対応可能。 ・フレール式コンバインベアラーで収穫すると、脱粒による収穫ロスを抑制可能。
	短所	<ul style="list-style-type: none"> ・ほ場での機械作業時間が長い。 ・収穫前後の天候が不順な地域には不適。 	<ul style="list-style-type: none"> ・乾燥効率が「籾・ワラ分別予乾」方式に比べて悪い場合、長期の在庫乾燥が必要。 ・在庫乾燥後にロールの保形性が悪化する可能性。

- ✓ 浄化植物は、その収穫後の収集・搬出方法によって、搬送形態が異なる。このため、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」に基づいて適切に取り

扱うことができるよう、事業実施地域及び処理施設が属する地方公共団体の廃棄物担当部局との調整を十分に行う。また、浄化植物の収集運搬、処理は関係法令に従って適切に行うこととする。

d 土壌や浄化植物の分析

- ✓ 浄化植物は、収穫時に採取・分析する。土壌は、耕起前及び浄化植物収穫時にそれぞれ採取・分析する。
- ✓ 浄化植物は、空間的な広がりも考慮して試料採取地点を1ほ場当たり5点（ほ場中心及びほ場中心とほ場頂点を結んだ線の中点）を選定し、各地点から4株ずつ採取し混合したものを分析する。
- ✓ 耕起前の土壌は、試料採取地点を1ほ場当たり5点（ほ場中心及びほ場中心とほ場頂点を結んだ線の中点）を選定し、各地点から採取する。また、収穫時の土壌は、浄化植物の試料採取を行った地点の中心付近から採取する。
- ✓ 土壌は、各採取地点から縦方向15 cm、横方向30 cm、深さ15 cmのブロック状、又は、採土器を用いて深さ15 cmの柱状に採取し、それぞれ分析する。なお、採土器を用いる場合、各地点から採取する試料の重量が1 kg以上となるよう、必要に応じ複数回採取する。
- ✓ 採取した浄化植物は、以下の項目を分析する。
 - ・ 重量（収穫したもの全体）
 - ・ カドミウム濃度（収穫したものの平均）
- ✓ 最初の浄化植物栽培前に採取した土壌は、以下の項目を分析する。
 - ・ 総カドミウム濃度
 - ・ 0.1 mol/L 塩酸抽出カドミウム濃度
 - ・ 土壌 pH
- ✓ 最初の浄化植物収穫以降に採取した土壌は、0.1 mol/L 塩酸で抽出されるカドミウムの濃度のみを測定する。
- ✓ 採取した土壌については、可能な範囲で以下の項目についても分析する。

<カドミウム濃度>

- ・ 0.01 mol/L 塩酸抽出濃度
- ・ Mehlich-3 溶液抽出濃度

<その他>

- ・ 総炭素

- ・ リン酸吸収係数

- ✓ 年度ごとに、土壌及び浄化植物の測定・分析結果に基づいて、浄化植物のカドミウム吸収量と対策に伴う土壌中カドミウム濃度の低減率を算出し、確認する。また、2 回目の作付以降は、植物体によるカドミウム吸収量に関する経年変化や累計での総カドミウム吸収量についても算出し、確認する。

④ 有効性の判断

原則として 3 年にわたって植物浄化を行い、対策実施前後の土壌中のカドミウム濃度 (0.1 mol/L 塩酸抽出) を測定し、単年度当たり 10%程度低減されているかを確認する。このレベルの低減効果が得られていない場合は、

- ・ その原因が明確であって、次年度以降の改善が可能であれば、所要の見直しを行った上で、植物浄化対策を継続する。
- ・ その原因が不明、又は、原因は明確だが次年度以降の改善が困難であれば、植物浄化を中止し、客土を実施する。

さらに、対策終了予定の 1-2 年前に、水田内にパイロット試験区 (坪植え程度) を設置して栽培した食用品種のカドミウム濃度を分析し、コメ中カドミウムの目標濃度と比較する。目標濃度を著しく超えている場合は、これまでに投入した費用と、事業期間を延長した場合に必要なコスト、追加で客土を実施する場合のコスト等を勘案し、

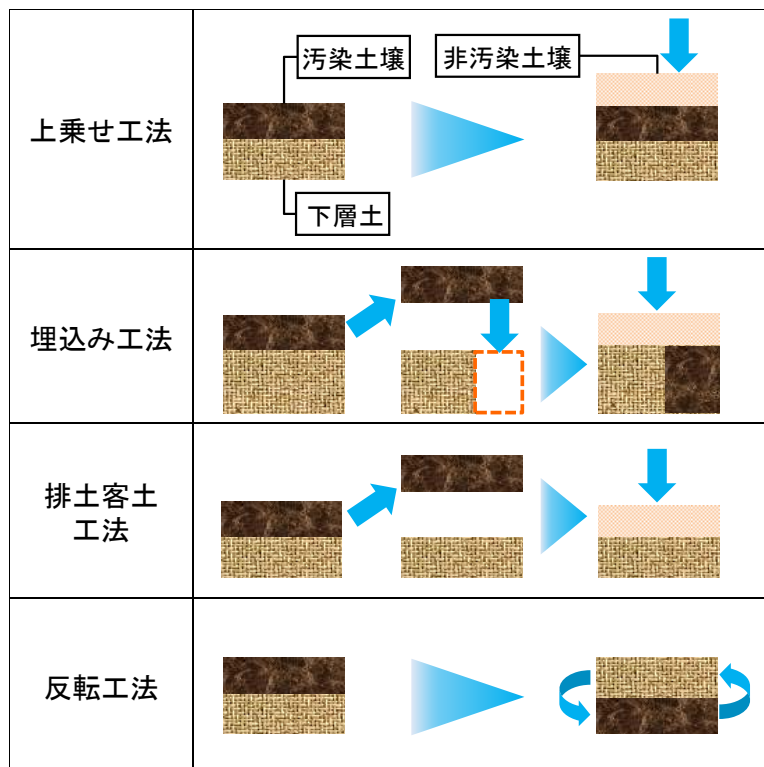
- ・ 対策期間の延長
- ・ 植物浄化を中止し客土

のいずれかを選択する。

(4) 客土対策

① 概要

客土は、汚染された農地に非汚染土壌で盛り土等を行うことによって、土壌から農産物へのカドミウムの移行を抑制する対策である。汚染土壌の扱いや非汚染土壌の盛り土の有無により、上乘せ工法、埋込み工法、排土客土工法、反転工法など様々な工法が存在する。



中央環境審議会土壤農薬部会資料（平成22年3月8日）を一部改変

図3 客土工法の種類

② 効果

通常、水稻の根の大部分は地表から 20cm 以内に存在する。このため、非汚染土壌で盛り土をする工法であれば、元来あった土壌が非常に高濃度に汚染されていても、20~40 cm 程度の盛り土で確実に水稻の作土層のカドミウム濃度を非汚染レベルにすることが可能である。

③ 技術的問題点

客土対策は、他の対策に比べて非常にコストが高く、短期間に大面積を実施することが困難である。

また、非汚染土壌を外部から搬入する場合、土壌採取地の環境に対する影響への配慮が必要である。

（5）その他の対策技術について

現在、農林水産省では、都道府県の協力のもと新たな低減技術体系の有効性を検証している。ここでは、水田土壌中のカドミウム除去に一定の効果を確認している塩化第二鉄を用いた土壌洗浄技術を紹介する。

① 概要

土壤洗浄法は土壤に塩化第二鉄を加えて、カドミウムを水中に溶出させた後、溶出したカドミウムを回収した後に排水することによって、土壤中カドミウムを除去する技術である。具体的には、以下の工程で実施する。

- a 水田に農業用水と塩化第二鉄を入れ、作業深度を調節可能なロータリーを装着したトラクターを用いて塩化第二鉄を含む水と土壤を混合。
- b 水に溶出したカドミウムを処理装置で回収した上で排水。
- c 農業用水のみを水田に入れて、工程 a と同様に水と土壤を混合し、水に溶出したカドミウムを回収した後に排水（本工程を 2～3 回繰り返す）。

なお、対策に要する期間は、必要な機材の設置、撤去を含め 2 ha 規模で 90 日間程度である。

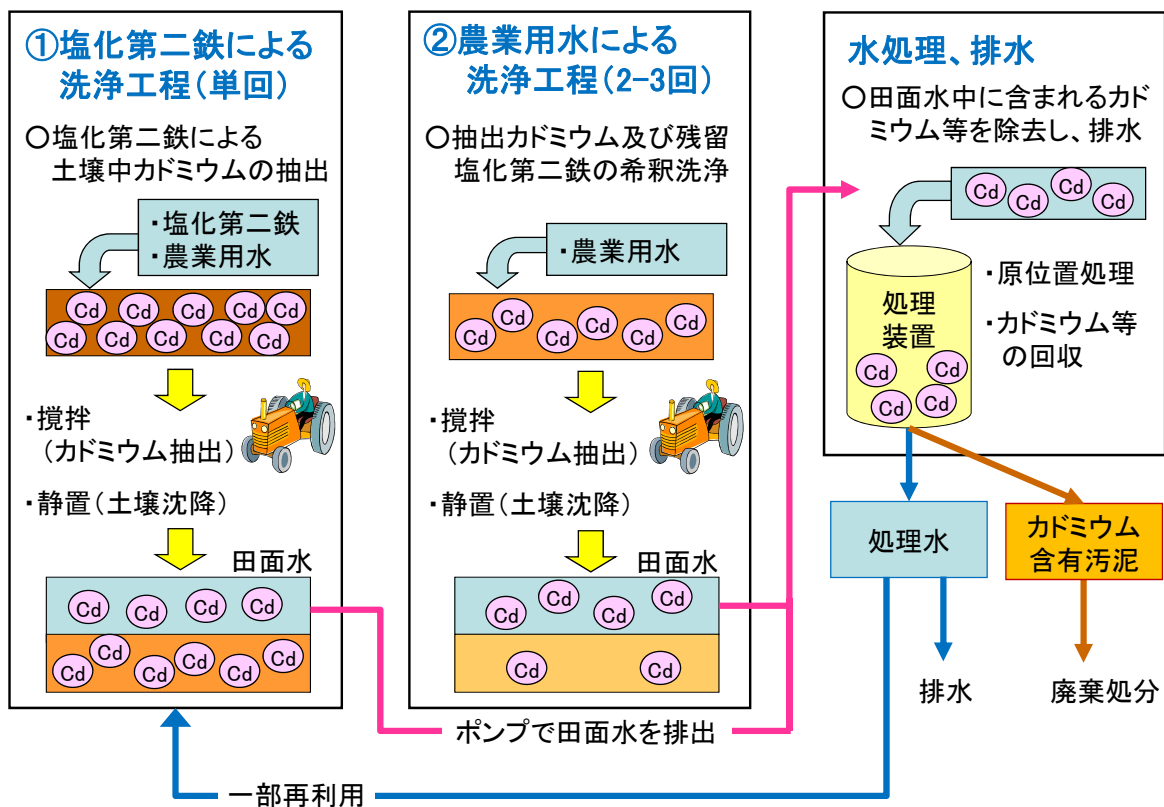


図4 土壤洗浄技術の概要

② 効果

土壤と水を混合する際の水深を 45 cm 以上とすることで、土壤中のカドミウム濃度を 60～80%程度低減することが可能である。

③ 技術的問題点

- ✓ 水に溶出したカドミウムを回収するための処理装置を、対策を実施する

ほ場周辺に設置する必要がある。

- ✓ 対策に必要な農業用水を確保する必要がある。
- ✓ 対策により土壌の物理性が変化するため、対策終了後最初に生産した農作物、特に畑作物の生育や収量に影響を及ぼすことがある。

なお、対策の設計等については、「薬剤による土壌のカドミウム浄化技術確立実証調査計画指針」（平成 19 年 7 月 農林水産省、(独) 農業環境技術研究所）を参照のこと。

V 今後の取組

今後、カドミウム濃度の高いコメが生産される可能性の高い地域において、都道府県や研究機関が中心となり、本指針に基づく対策を実施することによって、各産地で生産されるコメ中のカドミウム濃度が低減することが期待されるが、その状態を維持するためには、対策を継続的に実施することが必要である。また、各地域における対策の成果を踏まえて、地域の栽培条件を勘案した技術の体系化を推進するとともに、国内産のコメに含まれるカドミウム濃度が、国際基準に引き下げの動きがあった場合にも問題にならないレベルまでに低減することが期待される。

今後、農林水産省は

- ① 都道府県の協力の下、新たな低減技術体系の有効性を引き続き検証するとともに、
- ② 定期的に、国産米中のカドミウム濃度の実態や、地域の対策状況を調査し、
- ③ ①の検証結果や②の実態調査結果を基に、本指針を随時見直していく予定

である。その際、効率的な運用のもと低減対策が十分な成果をあげている地域について、本指針に基づく対策の到達目標の例として紹介することを検討している。

カドミウムの毒性について

食品を通じて摂取したカドミウムは、その一部が体内に吸収されるが、体外への排出速度が遅いため、長期間にわたって、徐々に腎臓に蓄積する。

長期間にわたる腎臓への蓄積の結果、腎臓のカドミウム濃度が一定の濃度に達した場合、腎臓の機能障害（通常は尿中に排出されない物質の排出量の増加）を生じる可能性がある。このため、食品を通じた低濃度のカドミウムの摂取による健康への有害な影響は、数十年にわたってカドミウムを摂取し続けた結果生じる慢性毒性である。

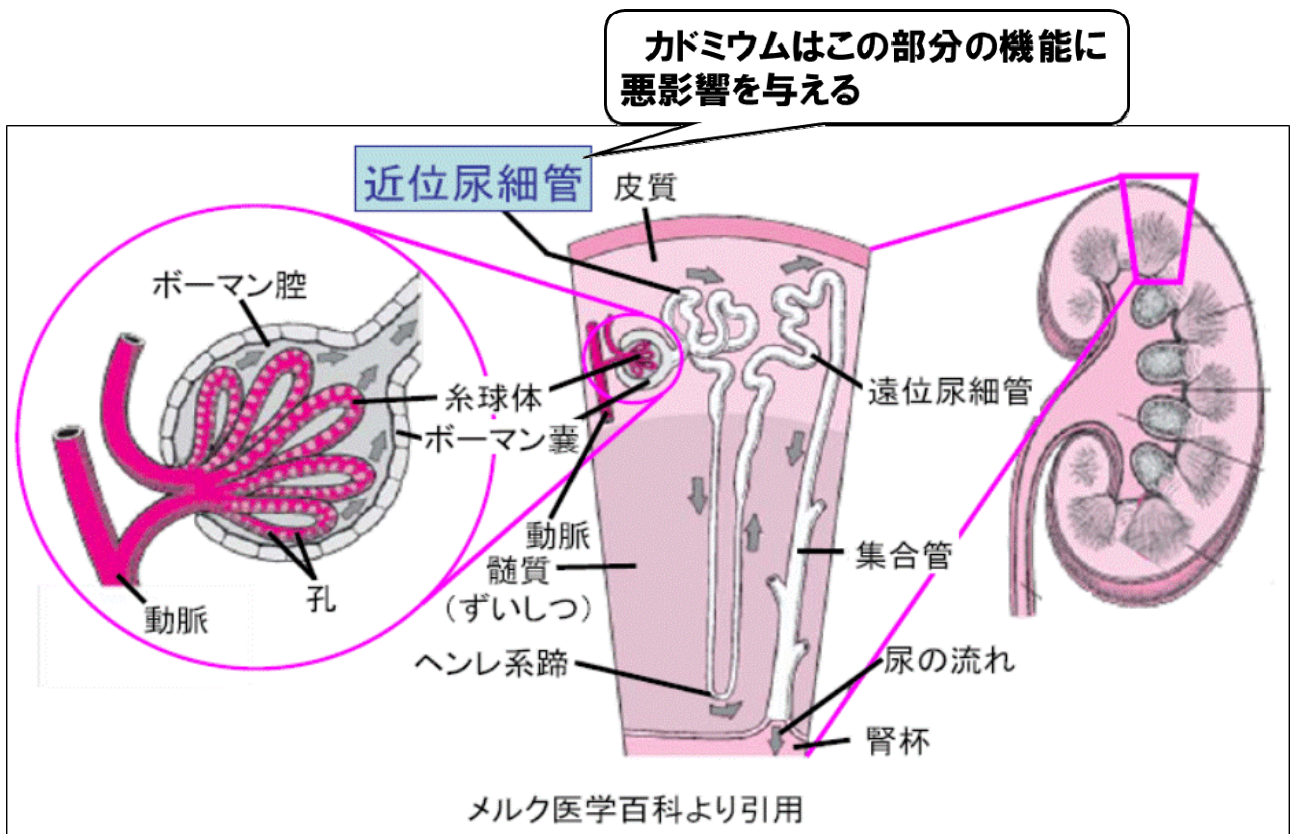


図 腎臓の構造とカドミウムの悪影響

酸化還元状態の変化に伴う土壤中カドミウムの変化について

水田に水を張った湛水状態を維持すると、土壌は還元状態（酸化還元電位の値は小さくなる）となるが、落水すると土壌は酸化状態（酸化還元電位の値は大きくなる）となる。

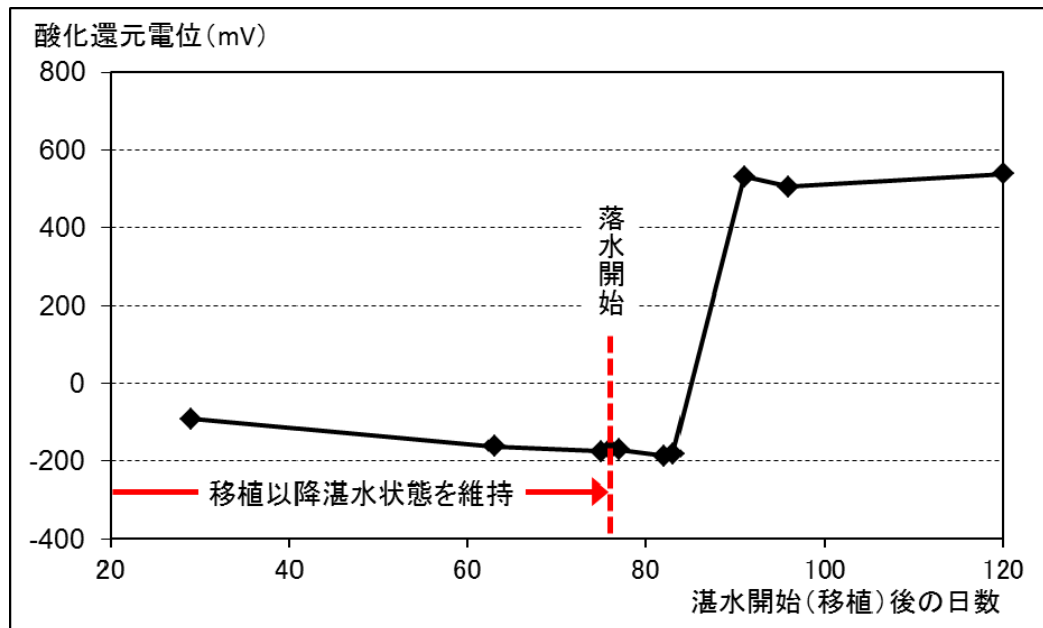


図1 湛水状態の変化に伴う土壌の酸化還元電位の変化

注1：水稻をポットで栽培し、定期的に土壌の酸化還元電位を測定。移植以降湛水状態を維持し、移植後75日目に落水。

注2：使用土壌：細粒グライ土、総カドミウム濃度 0.29 mg/kg

出典：農林水産省行政対応特別研究「農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技術等の開発に係る研究」（平成12～14年度）における成果

土壌の還元状態が維持されると、土壌中のカドミウムは共存する硫黄と結合し極めて水に溶けにくい硫化物（硫化カドミウム）を形成すると考えられている。

表 カドミウムの形態と水に対する溶解度

化合物	水に対する溶解度 (g/100 g H ₂ O)
塩化カドミウム CdCl ₂	54.7
塩化アンモニウムカドミウム CdNH ₄ Cl ₃	35.5
硝酸カドミウム Cd(NO ₃) ₂	61.3
硫酸カドミウム CdSO ₄	43.4
硫化カドミウム CdS	2.11 × 10 ⁻⁸

注：いずれの化合物も水温 25℃における溶解度（出典：化学便覧）

この結果、土壌中のカドミウムが、イオンとして土壌中の水画分に溶けにくくなるため、水稲による土壌中のカドミウム吸収が抑制される。

一方、土壌が酸化状態となると、カドミウムは硫化物を形成することが困難となる。この結果、土壌溶液中に溶け出すカドミウムイオンの量が増加するため、水稲による土壌中のカドミウム吸収が増大する。

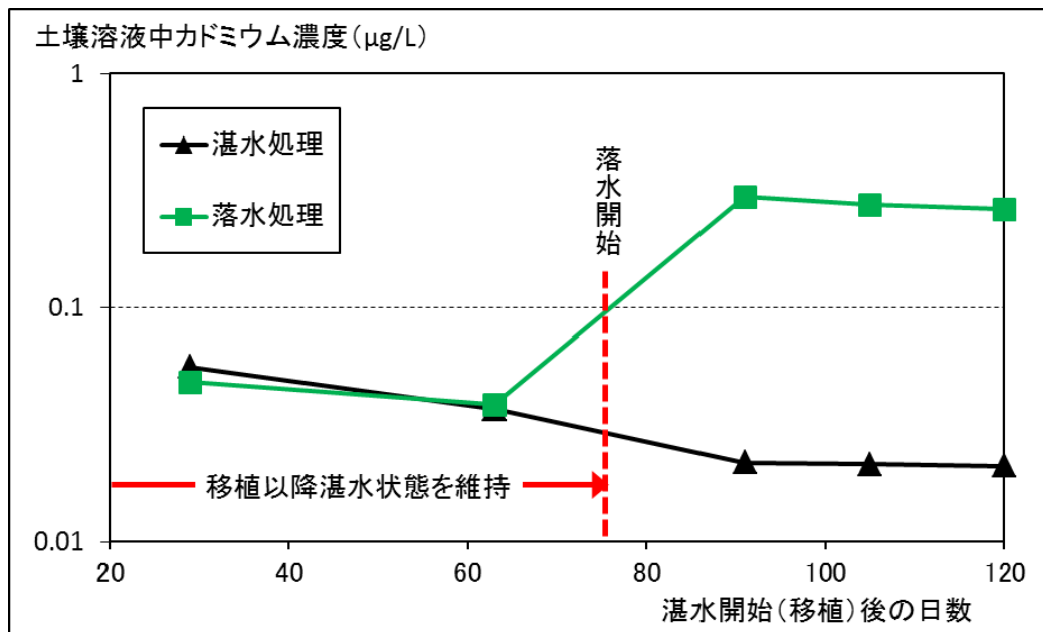


図2 湛水状態の変化に伴う土壌溶液中カドミウム濃度の変化

注1：水稲をポットで栽培し、定期的に土壌溶液を採取してカドミウム濃度を測定。落水処理群は移植後75日目に落水し、湛水処理群はそれ以降も湛水状態を維持

注2：使用土壌：細粒グライ土、総カドミウム濃度 0.29 mg/kg

出典：農林水産省行政対応特別研究「農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技術等の開発に係る研究」（平成12～14年度）における成果