

「農用地におけるカドミウム汚染土壌の修復技術の開発」

独立行政法人農業環境技術研究所
化学環境部重金属研究グループ長
小野 信一



農業環境技術研究所の小野でございます。我々の研究は、有害化学物質のうちカドミウムのリスク管理ということが研究の中心でございます。今日は、カドミウムに汚染された土壌の修復技術ということを中心にお話ししたいと思います。(資料：1)

まず、背景ですけれども、我が国のカドミウム汚染問題というのは1968年にカドミウムとイタイタイ病の関係がほぼ立証されたということから、大きな環境問題になってきております。(資料：2)1970年に食品衛生法により玄米のカドミウム濃度を1ppm以下とすると法律で決められました。その次の年の1971年に土壌汚染防止法が施行され、カドミウム濃度が1ppm以上の玄米が生産される地域を汚染地域と指定し、客土事業が開始されております。

国連にC o d e xという国際機関がありますが、これはF A OとW H Oの合同食品規格委員会で、ジュネーブにあります。そこでは現在カドミウムの基準値が検討されております。(資料：3)最初に出てきたのが1998年で、一番左側に書いているような、例えば精米0.2ppm、大豆0.2ppmというような原案が数値として示されております。昨年の2004年3月に、C o d e xの部会の中で、日本が0.2では厳し過ぎるということで対案を出しまして、そのときには精米については0.4という数値を提案しております。大豆についてはさまざまな事情から策定されませんでした。小麦などについても一定の数値が示されております。昨年6月にこの部会の原案を総会に持っていったわけですが、総会ではいろいろ議論があったようですが、日本が出した0.4というのは、C o d e x委員会というのは非常に慎重に議論するようになっておりまして、ステップ1から8まであり、8まで行けば完全に決定ということになるのですが、要するに、精米についてはステップ3に戻されたということですから、もう少し議論をし直すということになったわけです。それで、小麦などはステップ6に行っております。

では、我が国の農産物がどれくらいの濃度があるのかということを農水省で調べてインターネットで公開しております。(資料：4)大豆については、0.2を超えるものが17%ぐらいあると。玄米については、0.2を超えるものが3.3%ということになっております。玄米の3.3%というのは、現在の日本の水稻の作付面積に3.3%かけますと約五万ヘクタールぐらいになります。そこで0.2という基準ができますと、非常に大変なことになるわけです。小麦も、日本の場合は3%を超えていますから、結構汚染されているということ

になります。

土壌の修復技術というのは、先ほど申しましたように、これまでは汚染した土の上に土を盛り上げるという客土で行われております。(資料：5)汚染土壌の上に、山とか色々なところから非汚染土壌を持ってきて、20～40センチ上に乗せるというのが、これまでの土壌汚染防止法に基づいた対策事業でした。(資料：6)

ところが、最近では土を探してくるというのも大変だし、非常にお金がかかるわけです。このため、客土というのはなかなか行われにくい状況になっております。

この研究では、まず一番目に、我々が目指しているのはカドミウムに汚染された土壌を化学的処理で洗浄することです。(資料：7)

洗浄の原理は、粘土はマイナスに荷電していますからカドミウムなんかも吸着されているわけですが、それを、例えば塩化カルシウムみたいなものを入れて置き換えて、水の中に塩化カドミウムの形で溶出すると、簡単に示せばこういう方法です。(資料：8)

塩化カルシウムは、値段もそれほど高くなくて、一般的に売られている資材です。それから、環境にそれほど負荷もないというような物質ですから、それを使うということにしました。(資料：9)

現地では、塩化カルシウムをまいて、水を入れて、普通の代かきのトラクターで攪拌するというところでございます。(資料：10)

攪拌したら、カドミウムが水の中に溶けて出てきますから、それを外に流すわけにはいきませんので、それを回収する装置を開発しております。これは、太平洋セメントさんと共同研究で開発しております。(資料：11)これはミニチュアで、一つの実験モデルとしてつくったわけですがけれども、こういう装置を通してカドミウムを回収して、水を外に出すという方法でございます。

装置を通して、キレート材によりカドミウムを回収し、外に水を流すことにはなりますが、この水を調べてみるとほとんどカドミウムは入っていない。勿論、水質の環境基準は完全にクリアするぐらいにきれいに取れてしまうということでございます。(資料：12)実際に、洗浄した後に米をつくって、どれくらいカドミウム濃度が下がるか調べると、非常に効果があるということがわかっております。(資料：13)

次にファイトレメディエーションという方法が最近ありまして、それも我々のところで研究しております。(資料：14)ファイトというのはギリシャ語で植物という意味ですから、植物を使ったいわゆる修復技術という意味です。

昔、日本でカドミウムがいろいろ問題になっていたときに、セイタカアワダチソウを使って行った研究がございます。(資料：15)セイタカアワダチソウは生育が非常に大きいですから、かなりカドミウムを吸収しますが、その当時はいろいろ技術がなかったせいもあって、ただ吸収させたというだけで終わっております。

グンバイナズナという非常にカドミウム耐性の強い雑草があり、これは今、アメリカでよく使われております。農耕地ではなくて都市汚染のカドミウム汚染土壌で、グンバイナ

ズナをアメリカでは使っているようでございます。(資料:16)

ところが、こういう雑草を実際に耕地につくるというのは非常に難しいことです。それで、我々のところは栽培技術や収穫技術が確立している水稻を使ってファイトレメディエーションをやったらどうかということで、土の中のカドミウムを稲に吸収させて、それを収穫して外に持ち出し、それを燃焼して、燃焼灰からカドミウムを回収しようという方法を植工研さんと共同で研究しています。(資料:17)

我々のところでは、色々な種類の稲をカドミウムに汚染された土にポット試験で植えて調べてみました。(資料:18)稲にはジャポニカと、粒の長いインディカというのがございますけれども、そういうものをいろいろ比較してみますと、ジャポニカは幸いにして余りカドミウムは高くなかったのです。インディカが真ん中で、インディカとジャポニカとを交雑させた日・印交雑品種というのが、これはメカニズムがよくわからないのですが、非常にカドミウムをよく吸うということがわかりましたので、日・印交雑品種をファイトレメディエーションに使おうということを決めております。

これが密陽 23 号で、これは韓国で 20 年以上前につくられた多収の日・印交雑品種ですけれども、交雑品種の中でもカドミウムをたくさん吸うということがわかりましたので、我々のところはこれを使うことにしております。(資料:19)この密陽は、韓国語でミリアンという発音をするそうです。実際にカドミウムで汚染された圃場では、普通の収穫機で収穫して、外にわらごと全部持ち出さなければなりませんから、こういうロールにしまして、ラッピングして運びやすいようにして、燃焼する場所に持っていくという方法をとっております。(資料:20)

燃焼するときに、カドミウムは沸点が 800 度より少し下ぐらいですから、普通に燃やすと煙になって外に出てしまいます。それは非常に具合が悪いので、燃焼炉をいろいろ工夫して、灰としてカドミウムを回収します。それをリサイクルに回さなければいけないので、とにかく外に出ないような燃焼の工夫を研究しております。(資料:21)

我々の研究でやっておりますミニチュアの燃焼炉では、さまざまな条件を変えて、どういふふうにすればカドミウムが外に出ないかというようなことを研究しております。(資料:22)

ミニチュアである程度目途が立ったので、もう少し大きな中型のものでどうかということとで、中型実験炉でも試験をしております。(資料:23)

実際、最終的には一般のごみ焼却場で当面は焼く予定にしております。一般の焼却場も最近ダイオキシン対策で重金属などが外に出ないような設備になっておりますので、一般のごみ焼却場で焼いてもカドミウムを回収できるというようなこともある程度わかっております。(資料:24)

以上、お話ししましたことを大略まとめてみますとこういうことです。

土壌の汚染が高い場合、真ん中ぐらい、一番下が低い場合というふうに分けてみます。ある程度濃度の高いものは、まず化学洗浄でカドミウムを取って、これも一発で完全に取

れるというわけにはいきませんので、ある程度取って、その後にファイトレメディエーションを行います。もともと、それほど汚染していない中間の土は最初からファイトレメディエーションを行うというようなことで、カドミウムを取っていきこうということです。(資料：25)

それで、ある程度土壌中の濃度を下げて、濃度が下がればカドミウム含量の少ない安全な食料が生産できるということになります。

今後の研究の展望ですけれども、土壌の化学洗浄については、より効率的な洗浄剤、もうすでに塩化カルシウムよりももっと効率のいいものが見つかっておりますが、それを選定するということが1つ。(資料：26)

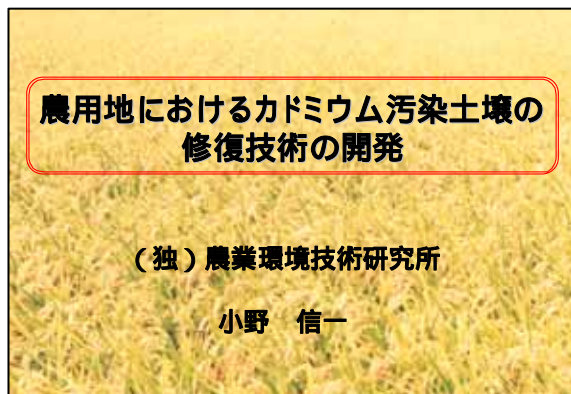
それから、当然のことですけれども、コストが高くてはどうにもならないので、できるだけコストを下げていくこと。それから、排水処理は非常に重要なことですから、もう少し研究していきます。

2番目のファイトレメディエーションについては、カドミウムを高吸収する稲の品種を検索するというので、これも先ほどの密陽23号よりも更にいいものが今年の研究結果で出てきております。ファイトレメディエーションも当然低コストで環境保全的である必要があります。

3番目に、これはお話ししませんでした、カドミウム低吸収品種の開発もこの研究ではやっております。

もともと、カドミウムを余り吸わないような稲とか大豆というのは、ある程度品種的にもわかっておりまして、遺伝的な解析も進んでおります。カドミウムを余り吸わないような品種を栽培するというのが非常に環境保全的でもあるし、低コストでもあるし、一番いい方法だということで、そういう研究も進めております。

資料：1



資料：2

わが国のカドミウム汚染問題の概要

- 1968年(昭和43年)カドミウムとイタイイタイ病の関係ほぼ立証
- 1970年(昭和45年)「食品衛生法」により玄米のカドミウム濃度を**1ppm**以下とする
- 1971年(昭和46年)「土壌汚染防止法」によりカドミウム汚染地域の指定と客土事業開始

資料：3

Codexにおけるカドミウム基準値原案の検討経過

食品群	1998年のCodex 原案(ppm)	2004年3月の 部会案*(ppm)	2004年6月の 総会での検討結果
精米	0.2	0.4	ステップ3
大豆	0.2	策定せず	
小麦	0.2	0.2	ステップ6
葉菜	0.2	0.2	ステップ6
軟体動物	1.0	1.0	ステップ3

*食品添加物・汚染物質部会(CCFAC)で合意された案

資料：4

カドミウムの想定基準値に対する超過率

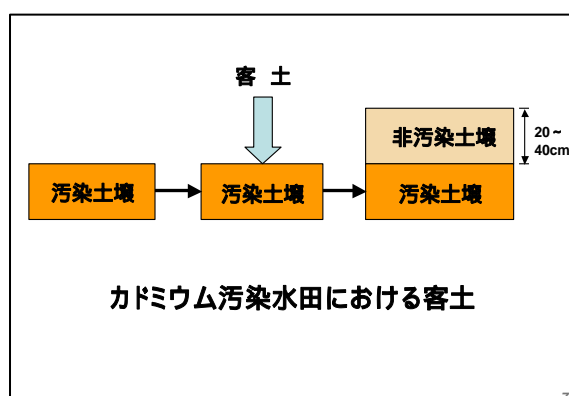
農作物 [分析点数]	想定基準値	超過率
大豆 [594]	0.2 ppm	17.3 %
	0.3	6.2
	0.4	1.9
	0.5	0.7
玄米 [37250]	0.2 ppm	3.3 %
	0.3	0.8
	0.4	0.3
	0.5	0.1
小麦 [382]	0.2 ppm	3.1 %
	0.3	0.8
	0.4	0.3

資料：5

汚染土壌の修復技術

1. 客土による土壌修復
2. 土壌洗浄等の化学処理
3. ファイトレメディエーション

資料：6

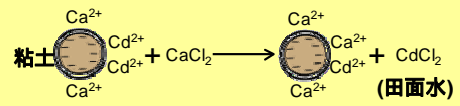


資料 : 7

汚染土壌の修復技術

- 1 . 客土による土壌修復
- 2 . 土壌洗浄等の化学処理
- 3 . ファイトレメディエーション

資料 : 8



塩化カルシウムによるカドミウムの清出

9

資料 : 9



資料 : 10



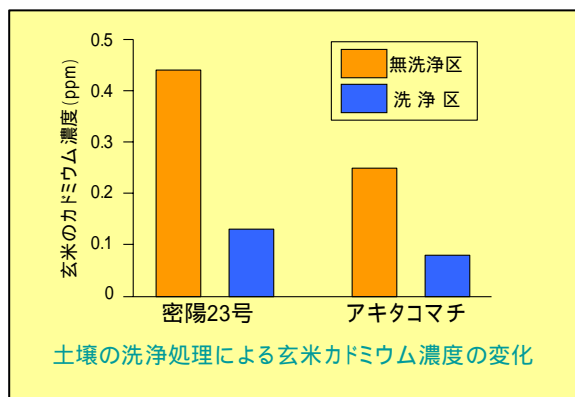
資料 : 11



資料 : 12



資料 : 13



資料 : 14

汚染土壤の修復技術

1. 客土による土壤修復
2. 土壤洗浄等の化学処理
3. **ファイトレメディエーション**

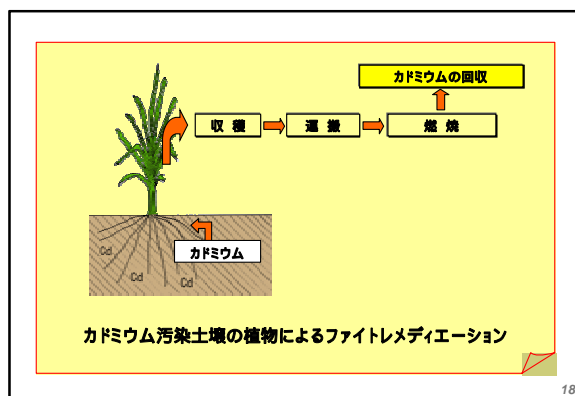
資料 : 15



資料 : 16



資料 : 17



資料 : 18

水稲のカドミウム吸収比較

ジャポニカ < インディカ 日・印交雑品種

0.66	1.67	4.31ppm*
------	------	----------

* 同じカドミウム汚染土壤で栽培した場合の玄米中濃度

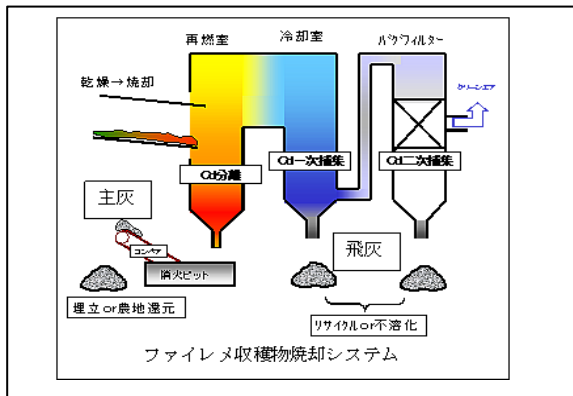
資料 : 19



資料 : 20



資料 : 21



資料 : 22



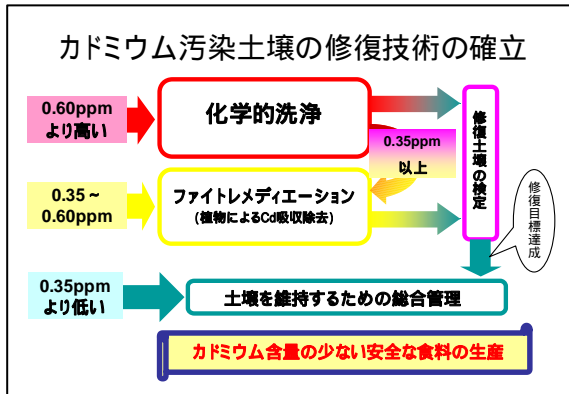
資料 : 23



資料 : 24



資料 : 25



資料 : 26

今後の研究の展望

- 1. 土壌の化学的洗浄**
より効率的な洗浄剤の選定
低コストな洗浄法と廃水処理技術の開発
- 2. ファイトレメディエーション**
カドミウム高吸収イネ品種の検索
低コストで環境保全的な処理技術の確立
- 3. カドミウム低吸収品種の開発**
イネ・ダイズなどのカドミウム低吸収品種の検索と遺伝的解析

