

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 10 日現在

機関番号：11101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21580290

研究課題名（和文）カドミウム汚染水田の浸透型と物質の動態

研究課題名（英文）Influence of a percolation pattern on the removal of ions in cadmium polluted paddy fields

研究代表者

佐々木 長市 (SASAKI CYOICHI)

弘前大学・農学生命科学部・教授

研究者番号：30162374

研究成果の概要（和文）：客土をもつカドミウム汚染水田模型を作製し、湛水条件下で、すき床層（汚染土）が開放浸透で酸化層となる閉鎖浸透模型において、稲体のカドミウム濃度および水稻の生育収量を調査した。カドミウムの濃度範囲は、玄米で 0.000～0.200mg/kg となった。開放浸透層模型の値が閉鎖浸透模型より大きな値となった。浸透型の差により生育には大きな差異は認められなかった。穂数、玄米重は開放浸透模型より閉鎖浸透模型で上回った。

研究成果の概要（英文）：We investigated that the cadmium concentration and the yields of rice plants by using two models of stratified paddy fields. The plowsole in those models was made of polluted soil. The range of cadmium concentration in both models in brown rice was 0.000-0.200 mg/kg. Cadmium concentration in brown rice with water flow in an open system became higher than that with water flow in closed system. We realized that percolation patterns did not influence the growth of rice plants. The number of panicles and the weight with water flow in closed system became higher than those with the water flow in the open system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
2011 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木・農村計画学

キーワード：カドミウム、水稻、浸透型、ヒ素、銅

## 1. 研究開始当初の背景

作物中のカドミウム（以下「Cd」と記す）の基準は、国により異なる。日本は玄米の濃度が 0.4ppm となっている。コーデックス委員会（FAO と WHO の合同委員会）では、最近の研究に基づき、玄米中の Cd 濃度のみならず、あらゆる食品の Cd 濃度の改定案を提案した。

これを受けて、政府はダイズ等の Cd の基準値を改訂することとした。また、Cd の作物での基準は、海産物から畑作物まで新たな基準を検討するための試験が、各試験場等で実施されている。Cd 汚染地における対策は、農業土木的な客土が主体で対策が講じられてきた。下層からの吸収の問題は、十分な検討課題と

はならず、研究はほとんどない。むしろ汚染地にファイトレミデイションを用い汚染土を除去する研究は世界的に実施されている。

既に、A 県の水田土を用いて、モデル円筒を用い予備的に試験をし、Cd 汚染下層土が酸化となる場合には、玄米中の濃度が高まることを指摘した。これまでのポット研究で、玄米：茎：根の Cd 割合が 1:10:100 という比率であることが分かり、根をとおした Cd 移動が懸念される。もし、根中の Cd 濃度が上方部ほど高ければ、客土したために通常管理している農家では、汚染米の再発の可能性の検討が発生する。また、本研究は植物根を通じた汚染物質の拡散の検証実験ともなる。

## 2. 研究の目的

秋田・富山・群馬県などは鉱山の廃水で汚染された水田が多く、この対策の結果として数千 ha 内外に及ぶ客土水田が存在する。こうした現地の汚染水田土を用いてモデル水田を作製し、浸透型による深度別根中の Cd 濃度の実態解明を目的としている。これまでの研究では、人工的に汚染土を作り出し試験をしたものが多いが、汚染地の土を用いることが現実的である。こうした背景には、汚染地の土壌には Cd 以外にも汚染物質があり、これらによる複合汚染が水稻へ影響をもたらすことも考えられるためである。

そのため、本研究ではこれまで汚染米が報告されている富山県や秋田県の土を採取し、これを用いて、下層土まで汚染土を充填し、下層土が酸化になる場合と還元である場合の玄米中の Cd 濃度を測定することを 2 年に渡り試験をし、変動の考えられる玄米中の濃度が統計的に有意差を検討できるようにした。

浸透型の相違による下層土の酸化還元への影響を、複合的な成分を含んだ現地土壌を用いて行った。

## 3. 研究の方法

### 3.1 実験計画および供試試料

本供試土は、鉱山排水により汚染水田に指定されている水田作土から採取した。実験模型は下層の浸透型を変え 2 個作製した。

土柱浸透実験①も実験②も第 I 層は非汚染土、第 II 層は Cd 汚染水田土、第 III 層は、青森県の岩木川の礫を用いた。実験①では第 I 層及び第 III 層下部は閉鎖浸透、第 II 層と第 III 層上部は開放浸透を実施した。実験②では、全層閉鎖浸透とし、浸透型の制御は、地下水位及び第 II 層の上部（I 層上面から 0.125-0.150m 部分）の密度をコントロールし行った。また、Cd 吸収抑制効果のある客土厚は、これまで色々提唱されているので、今回は試験的に工事の経済性が高くかつ現在の機械による耕起深の実態に対応させ 12.5cm とした。

汚染地の Cd 濃度は 3.39mg/乾土 1kg と非汚染土 0.17mg/乾土 1kg の約 20 倍の濃度（0.1M 塩酸浸出法）である。非汚染地土壌の Cd 濃度の平均値は 0.40 mg/乾土 1kg であり、供試汚染土は約 8 倍、非汚染土は約 0.4 倍の濃度である。汚染土壌中の Cd の目安（乾土中）は 1.5~2 mg/kg 以上であると指摘されている。分析は、2mm 篩通過試料を定法（農水省農産園芸局、1979）に従い行った。交換性塩基（ $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ）（原子吸光法）、全窒素（ケルダール法）、有効態リン酸（モリブデン比色法）、有機物含有量分析（重クロム酸法）とした。

### 3.2 実験装置および作製方法

水田模型は、内径 0.30m（高さ 1.2m、肉厚 0.01m）の塩ビ製の円筒内に、作土層（第 I 層）を 0.125m 厚、すき床層（第 II 層）を 0.10m 厚、心土層（第 III 層）を 0.75m 厚とし作製した。作製は、第 III 層（粒径 2~4.75mm の礫、乾燥密度約 1.40  $Mg/m^3$ ）を作製後、第 II 層上

部（透水制限部，0.025m厚，乾燥密度，0.88 Mg/m<sup>3</sup>），その後，第Ⅱ層下部（乾燥密度：0.65 Mg/m<sup>3</sup>）の順に作製した．第Ⅰ層は，第Ⅱ層の上に代かき状にした土（乾燥密度：0.65 Mg/m<sup>3</sup>）をのせて作製した．円筒側壁には，圧力水頭測定用及び深度別の採水用フィルタ（外径 0.007m，長さ 0.035m）や酸化還元電位測定用電極（以後 Eh 電極と記載，外径 0.010m，長さ 0.13m，電極をゴム栓中央に貫通させ作製，セントラル科学社製，UC-23 型）設けた．圧力水頭の測定及び採水は，フィルタにガラス管及び厚肉ガラス管を連結し行った．排水位は実験①では地表面下約 0.60m，実験②で約 0.20m とした．

なお，第Ⅱ層及び第Ⅲ層上部に設けた通気孔（Eh 電極と対称に設置，径 0.01m）は，負圧時には開放し，正圧時には閉鎖した．Eh，採水および圧力水頭測定用穿孔は，各層のほぼ同じ深さの異方向に 2カ所を目安とした．

2 年とも田植えは 5 月下旬，稲刈りは 10 月上旬～中旬とした．稲は，初期には円筒中心部に 4 株（各 1 本，中苗，品種：つがるロマン）植え，2 週間ほど後に正常生育の 2 株を残した．実験①，実験②とも常時湛水栽培とし，中干しは実施しなかった．肥料は全層施肥とし，装置は，学内のビニルハウス内にセットした．施肥量（窒素、リン酸、カリウムを各模型 1g）や供試水（学内井戸水）とした．

### 3.3 測定項目および方法

測定項目は，稲の生育環境，生育収量及び稲体の Cd 濃度の 3 つからなる．

下層の酸化還元を制御する実験であるので，深度別に酸化還元電位を測定した．このほかに，圧力水頭や浸透水の水質などを深度別に測定した．採水は，採水用フィルタに吸引圧を作用させる吸引脱水方式とし，約 3 時間で採水が終了するようにした．降下浸透水の鉄，カルシウム，マグネシウム，カリウ

ム，ナトリウムの濃度は原子吸光法（日立社製，Z-2000）で測定した．土壌の Eh および土壌水の pH 測定には pH/ORP メータ（セントラル科学社製，UC-23 型）を使用した．電気伝導度（EC）の測定には導伝率メータ（堀場製作所，D-54 型）を用いた．浸透型の判別指標である限界負圧の測定は，大型円筒を用いた方法とした．その結果，限界負圧は，第Ⅱ層下部で約-0.04m，第Ⅲ層で約-0.02m となった．日減水深はノギスを，水温及び気温は自記計（T&D 社製，TR-71U）を用い測定した．

## 4. 研究成果

### 4.1 植物体内の Cd 濃度

茎葉：茎葉の Cd 濃度は実験①で 0.180～0.845mg/kg であるが，実験②では 0.050～0.130mg/kg となった．実験①の方が実験②に比べ値が増加する結果となった．濃度は，実験②に比べ実験①で 3～7 倍の増加が見られた．土壌中の値に対し濃縮がどの程度起こったかを土壌中の Cd 値と茎葉中の値の比で算出した．その値は実験①では 0.053～0.249，実験②では 0.015～0.038 となった．茎葉では，実験①の方が，濃縮されやすい傾向となった．この結果は土層の酸化還元環境の影響でどのように変化するかという知見を与える．

根：根の Cd 含有量は層別調査を行った．このような層別調査は，根の Cd 吸収が土層の酸化還元環境の影響でどのように変化するかという知見を与える．第Ⅰ層および第Ⅱ層の Cd 含有量は，実験②より実験①で高まる傾向となった．第Ⅲ層では礫層の値に比べ根中の濃度の上昇（ほぼ 10 倍以上）が確認された．第Ⅲ層以外は，いずれの層でも実験①の根の Cd 濃度が高まる傾向となった．第Ⅲ層は傾向が定まらないが，礫層の濃度に比べかなり高くなるので，植物による汚染の下方への広がり危険性が示唆される．

Cd 濃縮の比率を茎葉同様に求めるならば、実験①の第Ⅱ層で 3.0~4.0、実験②で 1.5~2.3 と根への濃縮が明確に認められる。同様に、実験①の第Ⅰ層で 0.5~1.3、実験②で 0.5~0.6 となった。両層とも、開放浸透でかつ酸化層である実験①の値が、全層閉鎖でかつ還元層である実験②に比べ増加すると判断される。客土のある場合は客土のない場合に比べ、第Ⅰ層及び第Ⅱ層の根中 Cd 濃度が明らかに低下する傾向が認められた。このことは、根が汚染土層内に存在するか否かで、吸収する濃度が深度別に変化することを示唆している。

成層水田模型で根の深度別 Cd 濃度の実態調査結果が可能となり、その結果、客土の有無及び酸化還元状態に応じて根中の Cd 濃度が影響を受けることが示唆される。

玄米：玄米中の Cd 値は、概ね 0.20mg/kg 以下となった。日本の汚染米基準値よりは低下しているが、実験①の値が実験②に比べ 2-12 倍ほど大きくなった。客土下のすき床層からの転流が生じていると推察される。客土の有無に関わらず第Ⅱ層（汚染土）が浸透型の相違により玄米中の Cd 濃度が影響されると判断される。本実験結果でも、根>茎>玄米という濃度値の傾向があることは確認されるが、100:10:1 という比率は明確とは言い難い。植物体の Cd 濃度は、落水の有無にかかわらず、玄米/茎葉の比が比較的一定で 0.1~0.2 の範囲であることが指摘されている。本研究で得られたデータからこの値を求め、単純平均をするならば、実験①も実験②も 0.15 となる。圃場における値でもほぼ同じ範囲となっている。このことより、Cd 吸収特性がポット試験、圃場試験あるいは成層模型試験でも大きく変化しないことを示すと推察される。

以上の結果より、客土のない佐々木ら

(2009) の結果と同じく客土を持つ場合でも、下層の汚染土が酸化状態になる場合は全層還元状態の場合に比べ玄米中の濃度が高まると判断される。ただし、玄米中の濃度には、本実験での客土厚では、あるなしの影響は明確とならなかった。

#### 4.2 収量

穂数：穂数の範囲は、実験①では 12-28 本/株、同じく実験②では 14-31 本/株となった。得られた値は、実験②の穂数が実験①のそれよりも多くなる傾向を示した。これまでの Cd 汚染の実験でも Cd の影響で穂数が減少することが指摘されている。客土の有無にかかわらず、下層が汚染土で酸化層となった場合、穂数に影響が出るといえよう。客土の有無による穂数の相違は明確には認められないようである。

総藁重：一株当たりの総藁重は、実験①で 32~88g、実験②で 44~85g となった。3 カ年の平均では実験①は 58.3g、実験②で 62.3g と実験②の方が重くなった。汚染土層が開放浸透の場合は、根の旺盛な Cd の吸収により、藁の生産が減少すると推測される。このことより、総藁重には、客土の有無に関わらず、Cd の吸収による影響があると推察される。しかし、客土の有無による差異は認められない。

粗玄米重および玄米千粒重：粗玄米重の値は、実験①で 24-54g/株、実験②で 28~62g/株の範囲となった。いずれの年も実験②の値が実験①の値に比べ大きくなっている。このことより、粗玄米重への影響は客土の有無にかかわらず生じるが、客土のあるなしによる明確な差異は認められないようである。

稔実歩合は、実験②の値が実験①に比べ大きくなる傾向が見られる。実験①の稔実歩合が低い原因は、植物体から玄米への養分の転流阻害であると考えられる。つまり、12.5cm

の客土の影響は、浸透型の相違に関わりなく転流阻害を防ぐが、汚染土であるすき床層の浸透型の相違は籾の稔実歩合に影響を与え、粗玄米重に差異をもたらすと考えられる。

玄米千粒重は、概ね 20g 前後で、3 カ年とも実験①に比べ実験②がやや大きくなる傾向となった。

以上の結果より、客土層がある場合でも汚染下層の浸透型が稲体および玄米のカドミウム濃度および収量へ影響を及ぼすという結果が確認された。このことより、より安全性の高い客土は、下層を閉鎖浸透とすることであるということが本研究より指摘される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

① S.K.Paul, C.Sasaki, N.Matsuyama and K.Kato(2011):Effect of percolation pattern on yields of copper and cadmium in rice plants with soil dressing models, *Journal of Environmental Science and Engineering*, 5,1464-1473

② 佐々木長市, 松山信彦, 久保田正亜, 野田香織, 加藤幸(2010): 客土をもつカドミウム汚染水田の浸透型が稲体のカドミウム濃度および生育収量に及ぼす影響、*農業農村工学会論文集*、268、23-30

③ 佐々木長市, 松山信彦, 久保田正亜, 野田香織, 加藤幸(2009): カドミウム汚染水田の浸透型が稲体のカドミウム濃度および生育収量に及ぼす影響、*農業農村工学会論文集*、261、57-64

[学会発表] (計 1 件)

① Shymal K.P., Sasaki C., Matsuyama., et al(2010): Influence of percolation pattern on growth and yields of rice plants and uptake of cadmium with soil dressing models, 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science(Australia)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐々木 長市 (53)

弘前大学・農学生命科学部・教授

研究者番号：3 0 1 6 2 3 7 4

(2) 研究分担者

松山 信彦 (47)

弘前大学・農学生命科学部・准教授

研究者番号：2 0 2 6 1 4 3 0

(3) 連携研究者

なし