

	トイワ イシト
氏 名	樋川 佳士
本籍（国籍）	青森県
学位の種類	博士（農学）
学位記番号	連研 794 号
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 2 3 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当課程博士
研究科及び専攻	連合農学研究科 地域環境創生学
学位論文題目	客土水田の浸透型が稲体の銅およびカドミウム吸収に及ぼす影響 （Influence of percolation patterns on copper and cadmium uptake of rice plants of paddy fields with soil dressing）
学位審査委員	主査 弘前大学教授 佐々木 長市 副査 遠藤 明(弘前 准教授),安中 武幸(山形 教授),武藤 由子(岩手 准教授),加藤 千尋(弘前 助教)

論文の内容の要旨

日本における公害の原点として足尾銅山鉍毒事件が有名である。この事件では渡良瀬川流域の銅（Cu）による農地の土壌汚染が問題となった。同様に、カドミウム（Cd）による農地の土壌汚染がイタイタイ病を発生させ、大きな社会問題となり、1970 年に農用地の土壌汚染防止等に関する法律が制定された。これらの物質は、鉍山の排水を農業用水として利用していることから農地に蓄積され、かつ Cu や Cd の複合汚染農地も存在することとなった。土壌中の Cu 及び Cd は、酸化還元環境の相違で溶解度が異なり、稲に及ぼす影響が異なることがわかっている。これまでの研究では、客土を持つ水田でも浸透型の影響で Cd 汚染米が検出される可能性があることが指摘されている。しかし、客土を持つ水田（客土水田）の下層に Cu 及び Cd が共存する場合において、浸透型の相違の影響は解明されていない。こうした背景を踏まえ、本研究では成層水田模型（すき床層と心土層の浸透型を開放浸透と閉鎖浸透とした模型）を作製し、かつ同層の Cd 濃度は一定とし、4 段階の Cu 濃度の条件の下、浸透型の相違が稲体の Cu 及び Cd 濃度及び生育収量に及ぼす影響を解明することを目的とした。

実験では、これまでの成層水田模型における浸透型の影響の研究と同様の装置を使用した。実験装置は鉄箱内に、作土層を 0～10.0 cm（代掻き状態、客土）、すき床層を 10.0 cm～20.0 cm（突き固め作製、上部 2.5 cm は客土、下層は Cu と Cd の複合汚染土）、心土層を 20.0～62.5 cm（突き固め作製、上部 7.5 cm は Cu 及び Cd の複合汚染土、その下層は礫）とした。Cu 及び Cd の複合汚染土は、B 県の Cd 汚染土（約 2 mgCd/kg）から採取した土に塩化銅水溶液を混合し作製した。装置の鉄箱側壁には、地温、酸化還元電位及び圧力水頭測定用センサー等を設置した。成層水田模型は、同一土層条件で下層の浸透型と Cu 濃度（100 mgCu/kg、250 mgCu/kg、500 mgCu/kg、750 mgCu/kg）を変えて 8 種作製し、開放浸透模型では地下水位を約 55.0 cm、閉鎖浸透模型では約 20.0 cm に維持した。模型名は、複合汚染土の Cu 濃度に対応させ、O-100、C-100（100 mgCu/kg）、O-250、C-250（250 mgCu/kg）、O-500、C-500（500mg Cu/kg）、O-750、C-750（750 mgCu/kg）と呼称する。ただし、O の記号は開放浸透層と閉鎖

浸透層を持つ模型、C は閉鎖浸透層のみを持つ模型を意味する。各模型には、それぞれ草丈及び葉齢が 12.5~17.5 cm 及び 4.4~5.0 葉の苗を 15 本（品種：つがるロマン）移植した。生育収量調査は、岩手県農業試験場の基準に従った。栽培は、常時湛水とし中干しは行わず、弘前大学の学内圃場のハウス内で、3 年（2017~2019 年）にわたり実施した。毎年、稲の移植は 5 月下旬、稲刈りは 9 月下旬とした。

O-100~O-750 の下層に開放浸透層を持つ模型では、作土層は、ほぼ-100 mV 以下の還元層、すき床層及び心土層は 300 mV 以上の酸化層となった。全層閉鎖浸透層の C-100~C-750 の模型では、田植え後約 20 日で、全層-100 mV 以下の還元層となった。

玄米の Cu 濃度 (n=7) は、O-100、C-100、O-250、C-250、O-500、C-500、O-750、C-750、それぞれ 4.8 mgCu/kg、3.0 mgCu/kg、5.4 mgCu/kg、2.9 mgCu/kg、3.7 mgCu/kg、2.5 mgCu/kg、4.2 mgCu/kg、3.7 mgCu/kg となった。得られた値は、2.5~5.4 mgCu/kg と低濃度で、かつ既往の研究で得られた値と近似した。浸透型の相違による統計的な有意差 (5%) は 750 mgCu/kg を除いて確認された。同様に、玄米の Cd 濃度 (n=7) は、O-100、C-100、O-250、C-250、O-500、C-500、O-750、C-750、それぞれ 0.16 mgCd/kg、0.01 mgCd/kg、0.08 mgCd/kg、0.01 mgCd/kg、0.04 mgCd/kg、0.01 mgCd/kg、0.03 mgCd/kg、0.02 mgCd/kg となった。浸透型の相違による有意差 (5%) は 250mgCu/kg 以下の模型間では認められたが、500 mgCu/kg 以上の濃度では有意差 (5%) は認められなかった。土中の Cu 濃度の増加による玄米中の Cd 濃度の有意な減少が、開放浸透層模型間で認められた。

また、各模型の植物体の Cu 濃度は、浸透型の相違のいかんにかかわらず、その大小関係は、根>玄米>茎葉となった。しかし、Cd 濃度は、根>茎葉>玄米の大小関係となり、元素の違いによる移動特性が明らかとなった。玄米中の Cu 濃度は中国の安全基準である 10 mgCu/kg 以下となることが明らかとなった。

草丈、葉齢等の生育調査結果及び玄米千粒重等の収量調査結果のいずれの値でも、浸透型の相違による有意差は明確とはならなかった。Cu 濃度の増加による生育への影響は、明確とはならなかったが、収量では浸透型の相違に関わらず、750 mgCu/kg の模型の玄米千粒重等は、この濃度未満の模型と比較して有意に低かった。なお、根色は、既往の研究と同様に開放浸透の模型の色が閉鎖浸透層模型の根の色と比較して白かった。

以上の結果より、客土水田の浸透型の相違が、下層の複合汚染土の酸化還元環境を制御し、かつ玄米中の Cu 及び Cd 濃度に有意に差を生じさせると判断された。また、汚染土の Cu 濃度が増加すると、玄米中の Cd 濃度の低下が判明した。本研究により、客土条件下において複合汚染土壌での浸透型の及ぼす影響の一端が解明されたと考えられる。今後、汚染農地土壌の Cd 濃度の実態を考えると、本試験で設定した Cd 濃度よりも高い条件での検討も必要と推察される。

論文審査の結果の要旨

1970年に農用地の土壤汚染防止等に関する法律が制定され、農地に蓄積された銅（Cu）及びカドミウム（Cd）の対策が求められてきた。こうした対策の中心は客土工法である。しかし、客土を持つ水田でも玄米中のCd濃度の高い水田の存在が指摘されていたが解明は未了であった。こうした背景を踏まえ、本研究では客土水田模型（すき床層と心土層の浸透型を開放浸透と閉鎖浸透とした模型）を作製し、かつ同層のCd濃度（2.0 mgCd/kg）は一定とし、4段階のCu濃度（100 mgCu/kg、250 mgCu/kg、500 mgCu/kg、750 mgCu/kg）の条件下で、浸透型の相違が稲体のCu及びCd濃度及び生育収量に及ぼす影響を解明することを検討している。稲の移植は5月下旬、稲刈りは9月下旬とし、常時湛水栽培で栽培としている。

その結果、酸化還元電位の値は、下層に開放浸透層を持つ4模型では、作土層は、ほぼ-100 mV以下の還元層、すき床層及び心土層は300 mV以上の酸化層となった。全層閉鎖浸透層の4模型では、田植後約20日で、全層100 mV以下の還元層となった。このような酸化還元環境の明確な条件での研究は貴重なデータと考えられる。

玄米のCu濃度は、2.5~5.4 mgCu/kgと低濃度で、かつ既往の研究で得られた値と近似すること及び浸透型の相違による統計的な有意差（5%）は750 mgCu/kgを除いて確認されたことを明らかにしている。同様に、玄米のCd濃度は、0.01~0.16 mgCd/kgの範囲となり、浸透型の相違による有意差（5%）は、500 mgCu/kg以上の濃度では有意差がないことを明らかにした。さらに、このような複合汚染土では、土中のCu濃度の増加による玄米中のCd濃度の有意な減少が生じることを開放浸透層模型間で確認している。

草丈、葉齢等の生育調査結果及び玄米千粒重等の収量調査結果のいずれの値でも、浸透型の相違による有意差は明確とはならなかった。Cu濃度の増加による生育への影響は、明確とはならなかったが、収量では浸透型の相違に関わらず、750 mgCu/kgの模型の玄米千粒重等は、この濃度未満の模型と比較して有意に低かった。なお、根色は、既往の研究と同様に開放浸透の根の色が閉鎖浸透層模型の根の色と比較して白くなることなども明らかにしている。

以上の結果より、客土水田の浸透型の相違が、下層の複合汚染土の酸化還元環境を制御し、かつ玄米中のCu及びCd濃度に有意に差を生じさせると判断された。本研究により、客土条件下において複合汚染土壌での浸透型の及ぼす影響の一端が解明されたと考えられる。

本審査委員会は、「岩手大学大学院連合農学研究科博士学位論文審査基準」に則り審査した結果、本論文を博士（農学）の学位論文として十分価値のあるものと認めた。

学位論文の基礎となる学術論文

1. Toikawa, Y., Sasaki, C., Kato, C., Matsuyama, N., Endo, A., Fan, J., Annaka, T. (2021) The influence of percolation patterns on copper and cadmium uptake, growth and yield of rice plants in copper-and cadmium-

polluted stratified paddy fields

International Journal of Environmental and Rural Development