
富山県農林水産総合技術センター 農業研究所研究報告

第 8 号

平成30年3月

富山県農総セ農研研報

Bull. Toyama Agr. Res. Inst.

No. 8 Mar. 2018

富山県農林水産総合技術センター

農業研究所

(富 山 市 吉 岡)

富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究報告 第8号 (1~25頁)

目 次

1. 富山県における低濃度カドミウム汚染農地の解消に関わる研究 (資料)
石黒哲也・稲原 誠・雄川洋子・中田 均・東 英男 1
2. 水稲の不耕起V溝直播栽培における改良型覆土装置の効果の検証
南山 恵・野村幹雄17
3. タマネギの春まき作型確立のための各種病原菌の発病温度特性の把握
守川俊幸・三室元気21

富山県における低濃度カドミウム汚染農地の解消に関わる研究(資料)

石黒哲也¹・稲原 誠・雄川洋子²・中田 均・東 英男

Tetsuya ISHIKURO, Makoto INAHARA, Yoko OGAWA, Hitoshi NAKADA and Hideo AZUMA: A Study on the Recovery of Farmland Polluted by Low Concentration Cadmium in Toyama Prefecture

I はじめに

全国には約7,000haのカドミウム（以下、Cd）による農用地土壌汚染対策地域があり（環境省2016）、富山県には二つの汚染地域、イタイイタイ病の発症の地であり全国で最も広大な汚染地域である「神通川流域」（延べ面積 約1,500ha）と高濃度の汚染地域である「黒部地域」（作土Cd濃度の最高値 20mgkg^{-1} 以上）がある。そして、これまで40年以上にわたって汚染農地の解消のため、被害者団体や原因企業、関係機関が一体となり、多大な経費と労力、時間を投入して対策にあたってきた。

農業研究所においても富山県内でのCdによる農地汚染が顕在化して以来、“汚染農地の実態調査、解消のための対策工法の検討、客土母材の探索、客土復元後の安全性の確認”など、一連の調査に取り組み、また同時に水稻等による土壌からのCd吸収に関わる事象について、要因の解析をはじめとした基礎研究に取り組んできた。

事案当初からの調査研究—「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律（以下、土染法、1971年施行）」に基づき、土壌汚染の実態調査が開始された玄米濃度基準 1mgkg^{-1} の汚染米解消に関わる70年代の事項—については、これまで柳沢ら（1984）が詳細を取りまとめ報告している。

富山県では、これらの調査研究に基づき農用地土壌汚染対策地域（以下、対策地域）を指定し—神通川流域1,500.6ha、黒部地域129.5ha—、公害防除特別土地改良事業による客土対策を1980年以降、実施してきた。

一方、対策地域の周辺には当時の政府米の流通基準（玄米Cd濃度 0.4mgkg^{-1} ）を超える恐れのある

低濃度のCd汚染農地が存在し、産出する米は国による買入れ処置が長く行われてきたが、対策地域と同様の恒久的な対策を求める地元地権者・耕作者らの声が強く上がっていた。そのため、県では国等と協議のうえ、地域ごとの産米調査を実施し、産米流通対策地域（以下、産米地域）として特定し—神通川流域185.6ha、黒部地域148.9ha—、対策地域と同様に1997年以降、客土による復元対策を進めてきた。このような恒久的な対策は全国でも初めての事例であった。

対策地域及び産米地域への客土による30年以上にわたる復元対策は、神通川流域では2011年に、黒部地域では2014年に完了し、復元田では復元後の安全性の確認調査の後、現在では神通川流域、黒部地域の両地域ともに、安全・安心なコメの生産が行われている。

また、Codex委員会により2006年7月に精米の国際基準が 0.4mgkg^{-1} に決定され、国内のコメ（玄米及び精米）のCd濃度基準が2010年4月に 0.4mgkg^{-1} に改正されているが、富山県内で全国に先駆けて 0.4mgkg^{-1} を超えるような低濃度のCd汚染農地を特定し、対策地域とともに客土対策を行ってきたことは、富山県産米の食としての安全・安心の醸成に大きく寄与してきたものとする。

農業研究所においては、前述のとおり1970年代から対策地域の解消に関わる汚染の実態調査や客土工法、客土母材などの調査、さらには復元後の安全性の確認調査などを行ってきたが、特に1989年以降は産米地域の解消のための基礎調査、さらには国内基準の改正にともなう低濃度Cd汚染米の発生防止に関わる調査研究などに取り組んできた。

これらの低濃度Cd汚染農地の解消に関わる調査研究の成果は未発表のものが多く、本報では主

1) 前農業研究所

2) 現在：富山県農村振興課

な成果について既報も含め資料としてとりまとめ、公表することとした。

なお、本報の主たる内容は、以下のとおりである。

- ①産米流通対策地域の復元に関わる調査研究
 - ・対策工法の確立
 - ・玄米Cd濃度の水田でのバラツキの実態
- ②コメの国内基準見直しに伴う調査研究
 - ・吸収抑制栽培技術の構築
 - ・ファイトレメディエーションによる汚染土壌修復
 - ・土壤理化学性によるリスク評価の可能性
 - ・土壤汚染に関連する各種土壤Cd値の関係

また、本報で示すCd濃度分析値は、特別の記載がない限り公定法に準じ、以下の方法で測定した値である。

玄米・大豆試料は、硝酸・過塩素酸による湿式分解の後、0.1Mの硝酸または塩酸で定容し、原子吸光度計によるフレイム分析またはフレイムレス分析で測定した。

土壌試料は、風乾後粉碎し2mmの篩を通し、0.1Mの塩酸抽出液を直接、原子吸光度計によるフレイム分析で測定した。

II 産米流通対策地域の復元に関わる調査研究

1. 対策工法の確立

神通川流域の対策地域で用いられた汚染田の復元のための客土工法は、表1のように上乗せ客土と埋込客土であり、黒部地域の対策地域では排土客土であった(柳沢ら1984,山田2007)。

図1に略図を示したが、いずれも客土(作土層となる)の下に礫質土による耕盤層を設けることにより、下層の汚染土を遮断すると同時に、地耐

力を増すことにより大型農業機械の走行を可能とした工法であった。

産米地域において客土による復元事業を進めるにあたり、1989年から1994年にかけて、神通川流域と黒部地域の2か所で復元工法を決定するための実験田を設置し、客土厚、排土厚などについて調査した。

これらの実験田での結果とともに、施工の確実性や施工コスト、排土した汚染土の処理など、様々な観点が検討された結果、産米地域において神通川流域では埋込客土と上乗せ客土、黒部地域では上乗せ客土の対策工法を行うこととされ(表2)、1997年以降、復元事業が実施されることとなった。

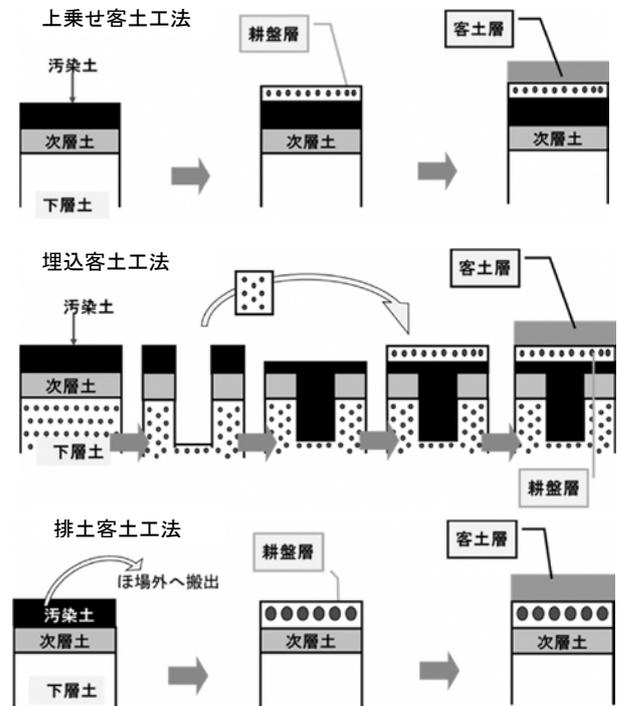


図1 富山県内の農用地土壌汚染対策地域の客土工法概念図

表1 農用地土壌汚染対策地域の対策工法

地域	導入した対策工法
神通川流域	「埋込客土」 汚染された表土をはがした後、汚染土を埋め込む溝を掘り、そこに汚染土を埋め込んでから埋込溝掘削土(礫質土)で覆って耕盤(厚さ10cm)を造成する。その後、非汚染土(厚さ15cm)を耕土として客入
	「上乗せ客土」 汚染された表土の上に礫質土を搬入して耕盤層(厚さ10cm)を造成した後、非汚染土(厚さ15cm)を耕土として客入
黒部地域	「排土客土」 汚染された表土を剥ぎ取り、排土処理場へ搬出の後、礫質土を搬入して耕盤層(厚さ10cmまたは15cm)を造成する。その後、非汚染土(厚さ15cm)を耕土として客入

表2 産米流通対策地域の対策工法

地域	導入した対策工法
神通川流域	「埋込客土」 汚染された表土をはがした後、汚染土を埋め込む溝を掘り、そこに汚染土を埋め込んでから埋込溝掘削土（礫質土）で覆って耕盤（厚さ10cm）を造成する。その後、非汚染土（厚さ15cm）を耕土として客入
	「上乗せ客土」 汚染された表土の上に礫質土を搬入して耕盤層（厚さ10cm）を造成した後、非汚染土（厚さ15cm）を耕土として客入
黒部地域	「上乗せ客土」 汚染された表土の上に礫質土を搬入して耕盤層（厚さ10cm/15cm）を造成した後、非汚染土（厚さ15cm）を耕土として客入

2. 玄米Cd濃度の水田でのバラツキの実態

産米地域の対策工法を検討するとともに、低濃度のCd汚染農地での玄米Cd濃度のバラツキの実態を調べ、より安全性の高い工法を見出すため、以下の調査が実施された。

調査は神通川流域の産米地域のほ場において実施し、具体的には「ほ場間、同一ほ場内の地点間、同一地点の株間、同一株内の穂間、同一穂内の粒間（粒間）」を対象にCd濃度のバラツキの実態を1989年に主に調査した。

1) ほ場間・ほ場内でのCd濃度のバラツキ

小竹・山田ら（1989 未発表）が中心となり、神通川産米地域の同一地域内の隣接する17ほ場（約4.7ha）について、ほ場ごとに詳細な立毛調査と産米調査を実施した。同時に実施した県内2箇所（箇所）の非汚染地の一般ほ場での調査結果とともに、一部データについて表3に示した。

産米地域内の隣接するほ場間において、玄米Cd濃度のバラツキは大きく、ほ場平均で約2倍の開きがあった。さらにほ場1筆内でのバラツキは玄米Cdでは一般田、汚染田ともに大きく、CVで20～30%の変異があり、土壌Cdでは玄米Cdほ

どではないが汚染田は10%前後の変異があった。またほ場ごとに収穫し乾燥調製をした出荷産米のバラツキは小さく、CVは5%前後であった。

土染法では汚染の実態把握を行うための細密調査は、概ね2.5haに1点の割合で調査ほ場を選定し、試料を採取・分析することとなっている（農水省1971、環境庁1994）。図2に調査したNo1ほ場（汚染田）における立毛玄米Cd濃度と産米Cd濃度の分布事例を示したが、立毛玄米Cd濃度は場所により 0.3kgmg^{-1} 前後の幅を生じている。

土壌Cd値以上に玄米Cd濃度値を判断材料として取り扱う場合には、①細密調査の一区画内の隣接するほ場間においても2倍以上の開きが生じる場合があること、②調査地点として選定したほ場内においても、場所により大きな開きが生じCVで20～30%の変異が起こりうるということが分かった。調査地域の汚染状況の判断には、得られた代表値の背景（ほ場の選定箇所、土性、ほ場の排水性、栽培の水管理、品種など）を十分に考慮し、リスク幅を大きくとったうえで評価すべきであることを改めて示す結果であった。

表3 ほ場間での立毛玄米Cd・産米Cd・土壌Cd濃度のバラツキ

小竹・山田ら（1989 未発表）

ほ場	n	立毛玄米Cd濃度			産米Cd濃度			土壌Cd濃度		
		平均	SD	CV	平均	SD	CV	平均	SD	CV
		FMmgkg ⁻¹	FMmgkg ⁻¹	%	FMmgkg ⁻¹	FMmgkg ⁻¹	%	FMmgkg ⁻¹	FMmgkg ⁻¹	%
一般田	6 2筆×3年	0.12~0.32	0.044~0.105	20.0~42.0	—	—	—	0.42~0.56	0.010~0.035	2.0~6.6
汚染田	10 10筆×1年	0.38~0.75	0.047~0.182	12.4~30.8	0.37~0.79	0.016~0.042	2.7~7.9	0.57~0.95	0.045~0.133	7.0~16.1

1) 一般田： 県中央部・西部の2ほ場。30点/ほ場の3ヵ年（1989～1991）のデータ（ほ場値の最小～最大）

2) 汚染田： 神通川流域産米流通対策地域内の隣接する低濃度汚染ほ場、10筆、約2.5ha

立毛22～32点/ほ場、産米13～24点/ほ場の1ヵ年（1989）のデータ（ほ場値の最小～最大）

3) 立毛試料： 1点/10m・10m採取、4株・作土/点

産米試料： ほ場毎に収穫・乾燥調製し、1点/60kgを採取（100g）

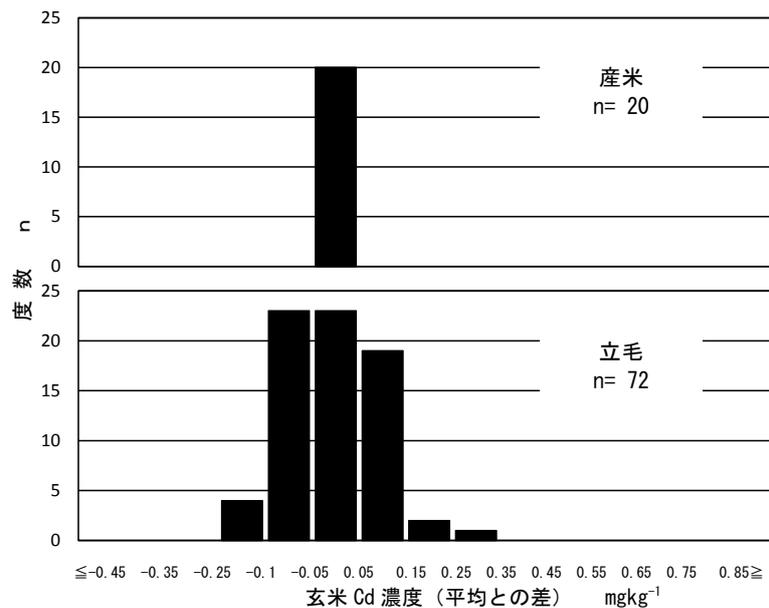


図2 立毛玄米、産米のCd濃度の分布

小竹・山田ら(1989 未発表)

- 1) ほ場：神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場 30a
- 2) 立毛試料：1点/5m・5m採取、4株/点
- 3) 産米試料：1筆単位で収穫・乾燥調製し、1点/60kgを採取(約100g)

2) ほ場の代表値を得るためのサンプリング法

通常、一つのほ場からサンプルを得る場合には、以下のように行われている(環境庁1994)。

「①当該ほ場の中央地点で1点、②当該ほ場の中央地点と、水口地点、中央地点及び水尻地点を結んだ線を3等分して得た線の中央地点(計3点)、③当該ほ場の中央地点及び当該地点のその他の4地点(計5点)」

表3の各ほ場の調査結果をもとに、低濃度Cd汚染田10ほ場(1989)と非汚染田である一般田2ほ場(1989~1991)を対象に、必要なサンプル数を目標の精度と誤差ごとに計算した(応用統計ハンドブック編集委員会1999)。

目標の精度と誤差を高めれば、当然、必要とされるサンプル数は多くなり、例えば立毛玄米Cd濃度では、汚染田では目標精度0.01mgkg⁻¹以下では527点(97~1378点)、0.05では22点(4~56点)、0.10では6点(1~14点)のサンプルが理論上、必要であった(図3,4)。

また、出荷産米は立毛玄米に比べ、ほ場毎に収穫・乾燥・調製する労を度外視すれば、必要とするサンプル数は格段に少なく、目標精度0.01mgkg⁻¹以下では37点(12~79点)、0.05では2点(1~4点)、0.10では1点(1~1点)のサンプルが必要であるとの結果であった。

次に、目標とする精度を玄米Cd濃度の基準が1.0mgkg⁻¹あるいは0.4mgkg⁻¹であることを考慮し、小数点第一位に影響を及ぼす±0.05mgkg⁻¹と設定し、各Cd濃度について、目標精度を0.05mgkg⁻¹とした場合の必要サンプル数を図5に示した。

汚染田、一般田ともにほ場のCd濃度平均値—全サンプルの平均であり、ほ場の真値に近い値と考えられる—が高いほど必要とするサンプル点数は増加するが、玄米Cdの基準濃度である0.4mgkg⁻¹前後では、出荷産米(ほ場毎に収穫・乾燥・調製)では1~2点、立毛玄米では10点程度のサンプルで十分、汚染の有無を判断できると推察された。

さらに土染法の常法として行われているサンプル手法(1点、3点、5点)により、どの程度玄米と土壌のCd濃度がぶれるものなのか、低濃度Cd汚染田の調査データ(1989)により算出した(図6,7)。

その結果、ほ場の玄米及び土壌のCd濃度について、“ほ場内の全サンプル平均値”との差は、1点のサンプリングでは一般田、汚染田とも0.1mgkg⁻¹を超えるが、3点、5点では概ね0.05mgkg⁻¹未満に収まっていた。現行の土染法では5点サンプリングを行うこととされており、サンプリングの労力とリスクを考慮すると妥当な手法であると考え

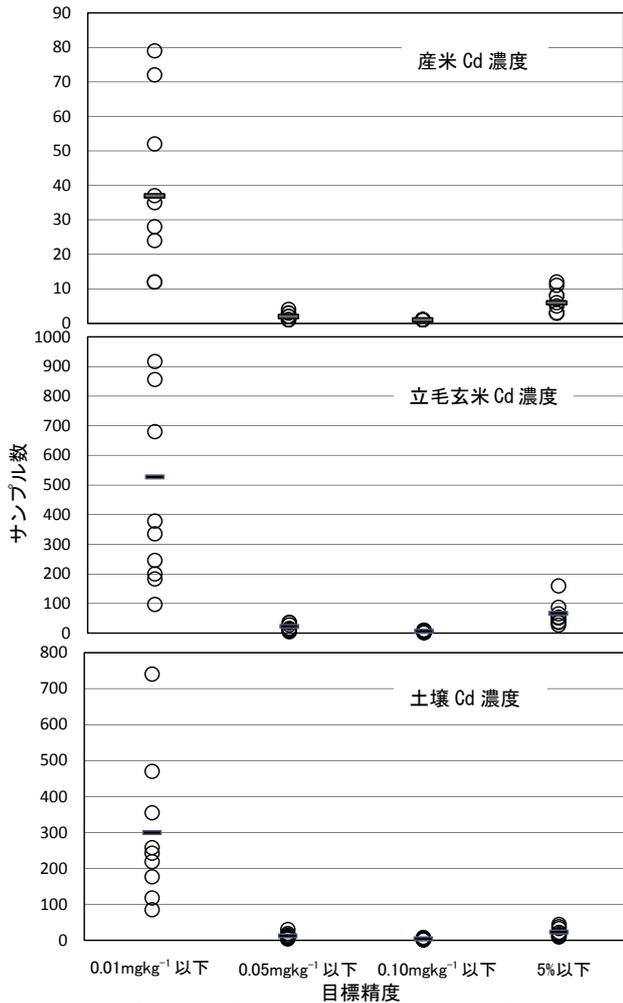


図3 土壌Cd・立毛玄米Cd・産米Cd濃度の目標精度と必要サンプル数 (低濃度汚染田) 石黒ら(1989 未発表)

- 1) 神通川流域産米流通対策地域内の隣接10ほ場のデータより算出(表3参照)
- 2) ○: ほ場単位の必要サンプル数、-: 10ほ場平均

られた。

3) ほ場内の同一地点での必要なサンプル数

ほ場の代表値を得るためにはほ場内で数箇所を選定し試料を採取することとなるが、では採取地点のCd濃度値を得るためには、どの程度の稲株数を採取しなければならないのかを見極めるため、以下の調査を実施した。

調査は、神通産米地域と非汚染地域(一般田)の各1ほ場(中央地点)において、57株(3㎡相当)を株ごとに採取し、玄米Cd濃度を測定し、「株間(51株)、穂間(6株)、粒間(3株)」の玄米Cd濃度のバラツキを検討した(石黒ら, 1989未発表)。サンプルの概略は図8のとおりである。

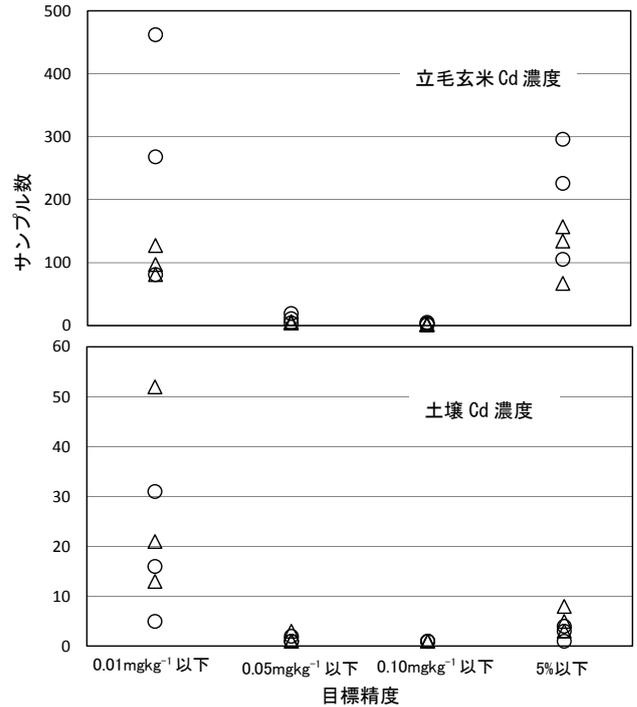


図4 土壌Cd・立毛玄米Cd濃度の目標精度と必要サンプル数 (一般田) 石黒ら(1989 未発表)

- 注) 富山県内の2ほ場(中央 △、西部 ○)のデータより算出(表3参照)

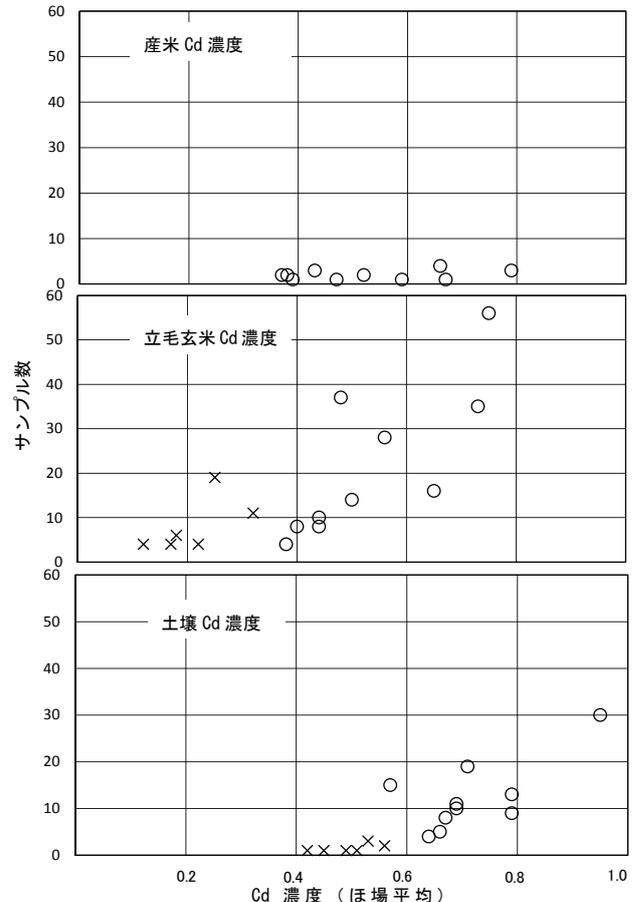


図5 土壌Cd・立毛玄米Cd・産米Cd濃度と必要サンプル数 (目標精度 0.05mg/kg) 石黒ら(1989 未発表)

- 注) ×: 富山県内の一般田2ほ場、○: 神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染田、隣接10ほ場(表3参照)

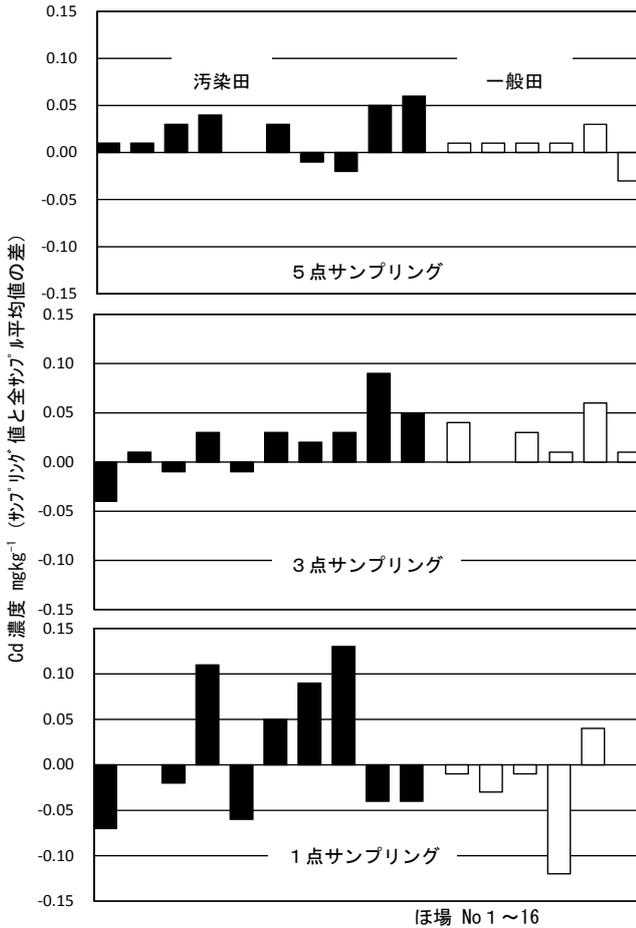


図6 立毛玄米Cd濃度のサンプリング数によるほ場平均の差異
 1) 1点サンプリング：ほ場の中央地点の1点 石黒ら(1989 未発表)
 3点サンプリング：ほ場の中央地点と、水口、中央及び水尻を結んだを3等分して得た線の中央地点(計3点)
 5点サンプリング：ほ場の中央地点及びその他の4点(計5点)
 2) データは表3参照

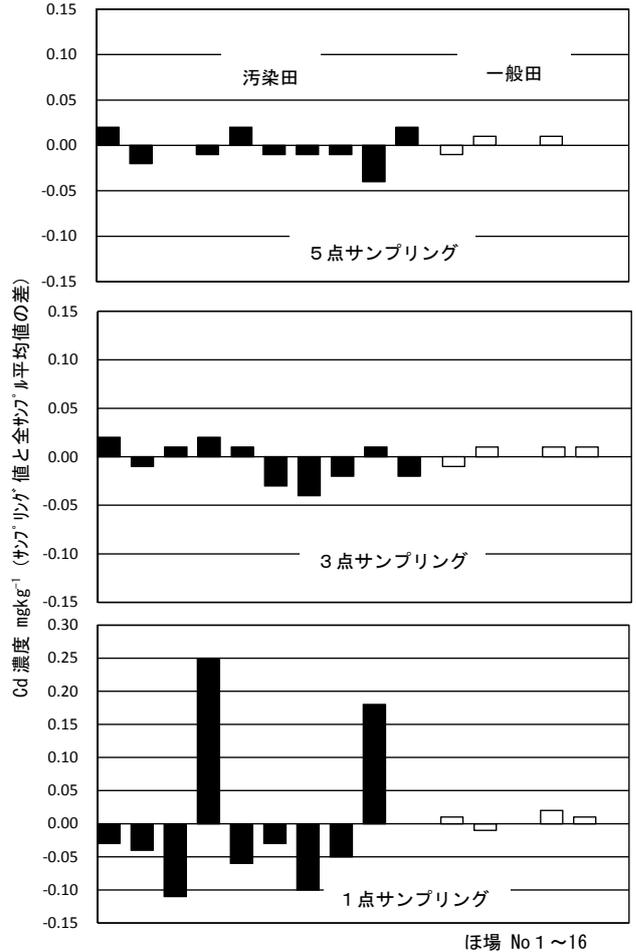


図7 土壌Cd濃度のサンプリング数によるほ場平均値の差異
 1) 1点サンプリング：ほ場の中央地点の1点 石黒ら(1989 未発表)
 3点サンプリング：ほ場の中央地点と、水口、中央及び水尻を結んだを3等分して得た線の中央地点(計3点)
 5点サンプリング：ほ場の中央地点及びその他の4点(計5点)
 2) データは表3参照

低濃度汚染田と一般田との玄米への吸収量の多少に関わらず、玄米Cd濃度のバラツキは、粒間>穂間>株間の順に大きく、より低濃度の一般田での変動が大きかった(表4)。

低濃度汚染ほ場での粒・穂・株ごとの玄米Cd濃度(平均との差)の分布を図9に示したが、粒間では±0.5mgkg⁻¹、穂間では±0.3mgkg⁻¹、株間では±0.1mgkg⁻¹程度の開きがあった。

表4の結果をもとに、地点における立毛玄米Cd濃度の目標精度ごとの必要とされるサンプル数(株数)を試算した(表5)。目標精度0.05mgkg⁻¹では、必要サンプル数は一般田では2点(株)、汚染田では9点(株)であった。

また、土染法の細密調査で常法とされる4株サンプルによる変動をみるため、同一地点51株の株毎の濃度値から隣接4株ごとのCd濃度値を試算した。その結果は、汚染田では0.67~0.95mgkg⁻¹

(全株平均 0.88)となり、4株のサンプリングではその地点の代表値さえ±0.1mgkg⁻¹前後は上下し、理論上必要なサンプル数からみても、立毛サンプルによりほ場内のある地点での玄米Cd濃度の代表値を得るためには、4株では不十分であり10株程度の株は採取すべきであると考えられた。

なお、玄米重においても玄米Cd濃度と同様に株間でバラツキはあり、その地点の精玄米重を目標精度50gm⁻²以下に求めたいとすれば、10~20株程度のサンプルは必要であると試算された(表5)。

4) 一穂内の玄米間のバラツキ

「同一地域内のほ場間、同一ほ場内の地点間、同一地点内の株間、同一株内の穂間、同一穂内のもみ(粒)間」に、玄米Cd濃度の大きなバラツキが、玄米Cd濃度基準値である0.4mgkg⁻¹に照らしても

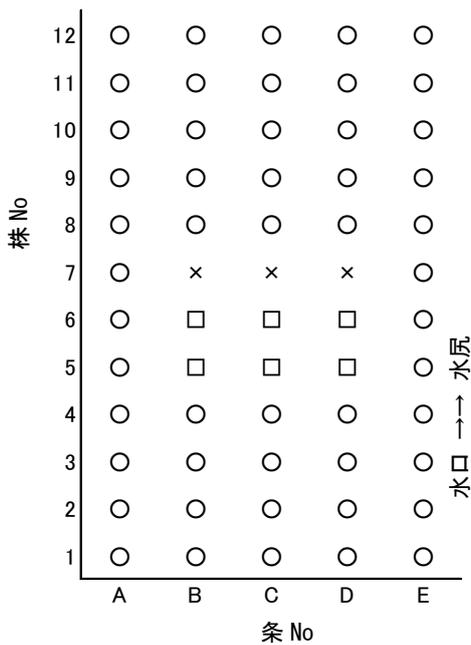


図8 株間、穂間、粒間のバラツキ調査のためのサンプル概要
石黒ら(1989 未発表)

注) ○ : 株調査、□ : 穂調査、× : 粒調査

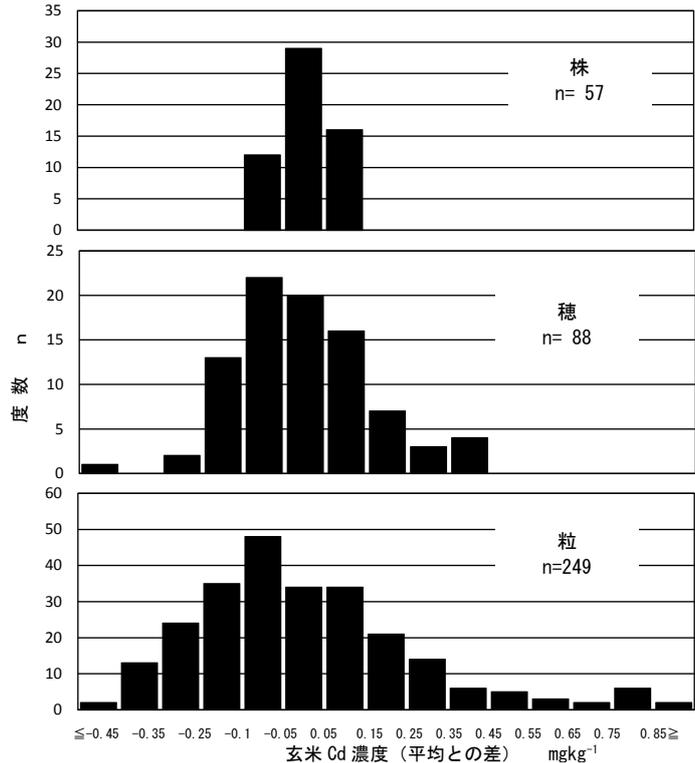


図9 粒・穂・株ごとの玄米Cd濃度の分布
石黒(1989 未発表)

- 1) ほ場 : 神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場
- 2) 試料 : 図8、表4参照

表4 同一地点における株間、穂間、粒間の玄米Cd濃度のバラツキ 石黒ら(1989 未発表)

	全粒				全穂				全株			
	粒数	平均	SD	CV	穂数	平均	SD	CV	株数	平均	SD	CV
	FMmgkg ⁻¹	FMmgkg ⁻¹	%	FMmgkg ⁻¹	FMmgkg ⁻¹	FMmgkg ⁻¹	%	FMmgkg ⁻¹	FMmgkg ⁻¹	FMmgkg ⁻¹	FMmgkg ⁻¹	%
一般田	242	0.10	0.06	60.0	123	0.08	0.03	40.0	57	0.10	0.03	34.0
汚染田	249	0.85	0.28	32.0	88	0.75	0.17	22.4	57	0.88	0.07	8.3

- 1) 汚染田 : 神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場
- 2) 一般田 : 県内西部の非汚染の一般ほ場
- 3) 調査ほ場の中央地点より、図8のとおり稲株を、個別に採取し、供試した(1989年)。

表5 同一地点における立毛Cd濃度の目標精度と必要サンプル数 石黒ら(1989 未発表)

目標精度	一般田		汚染田	
	精玄米重 gm ⁻²	玄米Cd濃度 mgkg ⁻¹	精玄米重 gm ⁻²	玄米Cd濃度 mgkg ⁻¹
全株 平均値±SD	586±102	0.10±0.03	0.88±0.07	
目標精度に必要なサンプル数				
誤差 10gm ⁻² /0.01mgkg ⁻¹ 以下	416	47	230	214
誤差 50gm ⁻² /0.05mgkg ⁻¹ 以下	17	2	10	9
誤差 100gm ⁻² /0.10mgkg ⁻¹ 以下	5	1	3	3
誤差 5%以下	49	186	70	12
誤差 10%以下	13	47	18	3
4株サンプルによる玄米Cd濃度の変動幅	—	0.05~0.14	—	0.67~0.95

- 1) 汚染田 : 神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場
- 2) 一般田 : 県内西部の非汚染の一般ほ場
- 3) 調査ほ場の中央地点の51株について個別に採取し、調査・算出した(1989年)。

存在することが分かった。

これら一連のバラツキの元である、穂内粒間のバラツキの特徴については、石黒・山田(1997)が報告している。

神通川産米地域の低濃度汚染ほ場(土壌Cd 0.56mgkg^{-1})の登熟穂において、玄米Cd含有量・濃度が1穂内における玄米粒重の変異に比べ2倍以上の大きな変異があること。また、玄米Cd含

有量・濃度は、穂内先端に比べ基部の1次枝梗着生粒ほど高く、同一1次枝梗内においては強勢穎果(1次枝梗先端粒など)で低く、弱勢穎果(1次枝梗・2次枝梗の次位・次々位粒など)ほど高い傾向があるとしている(図10、表6)。

さらにこの変異の原因として「穎果の登熟の早晚」と「登熟期間中の湛水・落水による土壌からのCd移行量」が関与していると推察している。

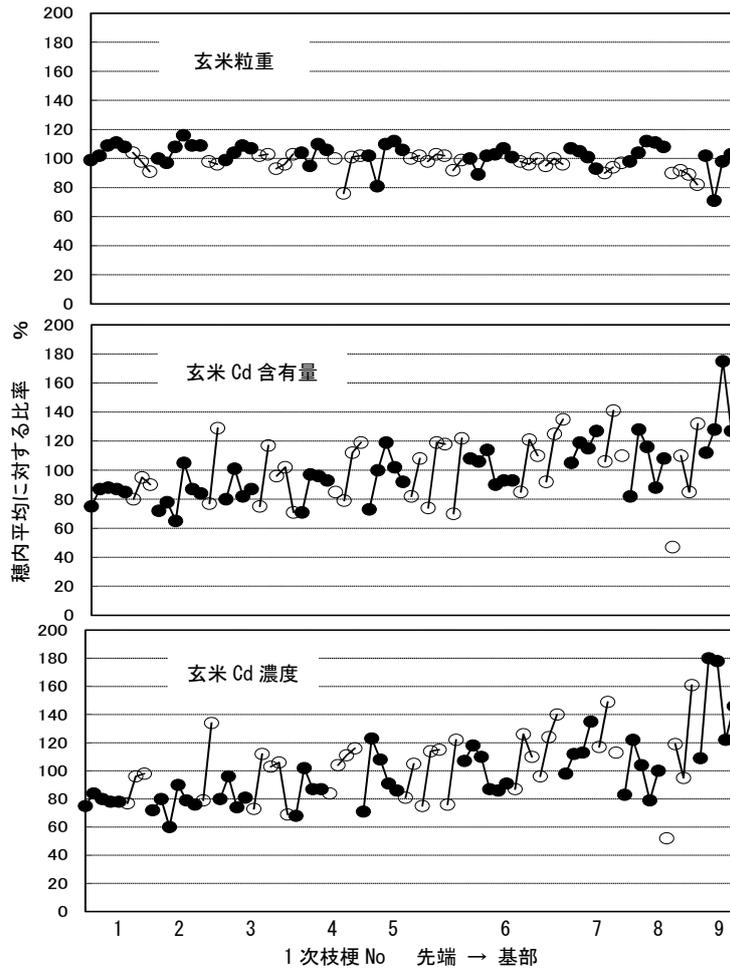


図10 穂内着粒位置別の玄米粒のCd濃度、Cd含有量及び粒重
石黒・山田(1997)

- 1) 神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場の中央部採取穂最長穂
表6のB3穂の穂内平均に対する比率を表示
- 2) ●: 1次枝梗粒、○: 2次枝梗粒

表6 穂内玄米1粒ごとの粒重、Cd含有量及びCd濃度

石黒・山田(1997)

穂	n	粒重					Cd含有量					Cd濃度				
		平均値	SD	最大値	最小値	CV	平均値	SD	最大値	最小値	CV	平均値	SD	最大値	最小値	CV
		DMmg/粒					DMmg/粒					DM mg kg ⁻¹				
		%					%					%				
A1	86	15.1	4.2	21.2	4.2	28.2	1.2	0.9	4.0	0.2	80.0	0.08	0.07	0.31	0.02	87.5
A2	69	19.9	2.1	22.6	12.9	10.4	1.8	0.5	3.3	1.0	28.4	0.09	0.03	0.18	0.05	33.3
A3	87	18.1	4.5	23.6	3.0	24.9	2.5	0.9	5.7	0.5	33.9	0.15	0.06	0.38	0.05	40.0
B1	89	19.1	2.0	22.5	9.0	10.4	15.3	4.7	28.9	8.7	30.5	0.81	0.28	1.70	0.50	34.6
B2	78	20.5	1.7	23.7	14.5	8.0	20.4	4.4	35.7	9.5	21.8	1.00	0.25	1.80	0.52	25.0
B3	82	20.6	2.0	23.7	14.0	9.8	19.4	5.4	33.3	2.2	27.7	0.96	0.34	2.07	0.13	35.4

- 1) A1~3: 県内西部の非汚染の一般ほ場の中央部採取穂最長穂
- 2) B1~3: 神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場の中央部採取穂最長穂
- 3) 表4,5の調査地点と同様であり、株ごとに採取し、調査・分析した(1989年)。

III コメの国内基準見直しに伴う調査研究

1. 吸収抑制栽培技術の構築

1) 水稲の湛水栽培による吸収抑制

稲原ら(2007)は、神通川産米地域の低濃度Cd汚染ほ場において、水稲のCd吸収を抑制するための生育後期(出穂前15日から出穂後25日まで)の湛水効果を検討した。

その結果、後期湛水処理により、間断灌漑処理に比べ玄米Cd濃度は84%低減し0.08mgkg⁻¹となり、湛水による土壌還元による根の障害も認められず、出穂前後40日程度の湛水処理により、低汚染レベルのほ場で玄米Cdを改正基準以下に抑えることを確認している(表7、図11)。

この結果に基づき富山県内の一般水田においては、2003年頃より水稲の「出穂後20日間を湛水管理とする吸収抑制栽培」が広く実践されるようになった。

2) アルカリ資材による水稲のCd吸収抑制効果

稲原ら(2007)は、湛水処理とともにアルカリ資材の連用による水稲のCd吸収抑制効果を検討している。

アルカリ資材の連用(2001~2003年 鈹さいケイ酸質肥料、2004年 熔成ケイ酸リン肥 各年600g^m⁻²)による抑制効果は、中干し後間断灌漑を継続した処理区で連用3年目から認められたが、玄米Cd濃度の平均±99%信頼区間は0.4mgkg⁻¹を上回っており不十分であった。また、抑制効果は、湛水処理>アルカリ資材施用であり、相乗効果は認められなかった(表8)。

さらに、土壌の汚染レベルとpHの低いほ場においては、ケイ酸を含むアルカリ資材の連用処理と後期湛水処理を組み合わせることにより、水稲のCd吸収抑制と生育・収量の安定化を図ることができることを報告している(図12)。

表7 水管理と玄米Cd濃度、汚染リスク(特定濃度を超過する確率) 稲原ら(2007)

処理区分	玄米Cd濃度 mgkg ⁻¹				特定濃度を超過する確率 %	
	2002年	2003年	2004年	平均	≥0.2mgkg ⁻¹	≥0.4mgkg ⁻¹
対照	0.61±0.49	0.25±0.29	0.64±0.18	0.50 ^a	93.1	74.6
後湛	0.12±0.07	0.07±0.09	0.05±0.03	0.08 ^b	1.44	0.21
常湛	0.06±0.03	0.02±0	0.02±0.03	0.03 ^b	0.32	0.07

1) 処理区分

(後湛) 移植~△16: 湛水→中干→間断 △15~+25: 湛水 +25~+32: 間断 +32~収穫: 落水

(常湛) 移植~△16: 湛水 △15~+25: 湛水 +25~+32: 間断 +32~収穫: 落水

2) 数値: 平均±99%信頼区間 a, b: 異符号間に5%水準で有意差(Tukey法)

3) 超過確率: 玄米Cd濃度の平均±信頼区間が0.2および0.4mgkg⁻¹以上となる確率

4) ほ場: 神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場

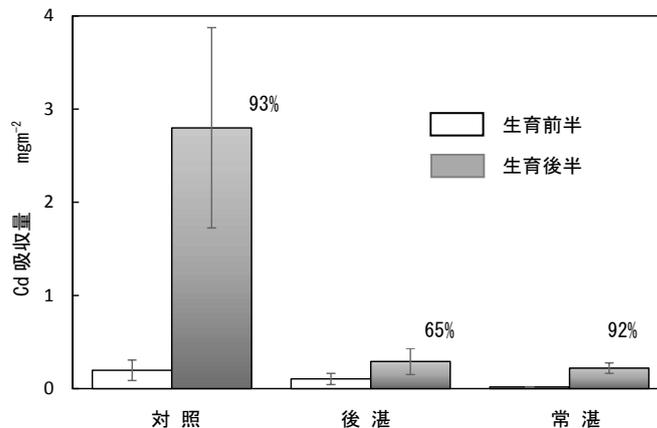


図11 水管理とイネの生育時期別の地上部Cd吸収量

稲原ら(2007)

1) 出穂前15日を基準に生育の前半と後半に区分

2) 3ヵ年(2002~2003)の平均±標準誤差

3) 図中の百分率は、成熟期の地上部Cd吸収量に対する生育後半の吸収量の比率

4) 対照、後湛、常湛: 表7参照

5) ほ場: 神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場

表8 吸収抑制処理と玄米Cd濃度 稲原ら(2007)

処理区分	玄米Cd濃度 mgkg ⁻¹		
	2002年	2003年	2004年
対照	0.61 ^a ±0.49	0.25 ^a ±0.29	0.64 ^a ±0.18
対照+資材	0.65 ^a ±0.23	0.15 ^b ±0.35	0.19 ^b ±0.29
後湛	0.12 ^b ±0.07	0.07 ^c ±0.09	0.05 ^c ±0.03
後湛+資材	0.13 ^b ±0.09	0.05 ^{cd} ±0.03	0.06 ^c ±0.03
常湛	0.06 ^c ±0.03	0.02 ^d ±0	—
常湛+資材	0.07 ^c ±0.06	0.02 ^d ±0.03	—

- 1) (後湛、常湛) 表7参照
- 2) (資材) 2001~2003: 鉱さいケイ酸質資材(粒状ケイカ)
アルカリ分37% 可溶性ケイ酸30%
- 2004: 熔成ケイ酸リン肥(とれ太郎)
アルカリ分40% 可溶性ケイ酸30%
- 各年、春耕起前に施用 600gm⁻²
- 2) 数値: 平均±99%信頼区間
a, b: 異符号間に5%水準で有意差(Tukey法)
- 3) ほ場: 神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場

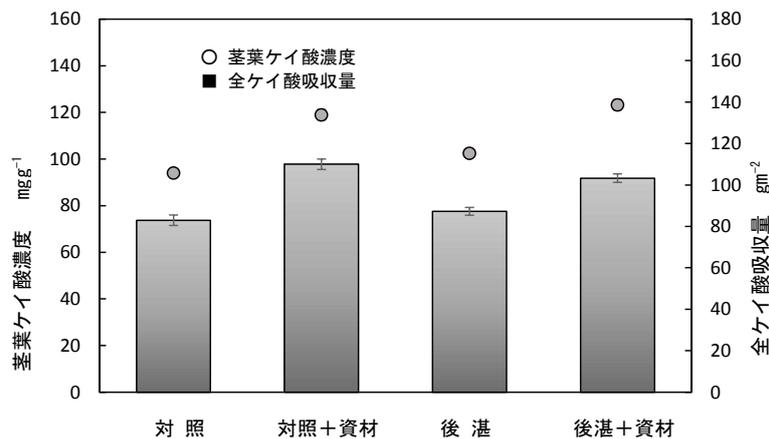


図12 アルカリ資材連用と成熟期における水稻のケイ酸吸収量 稲原ら(2007)

- 1) 2004年の平均±標準誤差
- 2) 対照、後湛、資材: 表7、表8参照
- 3) ほ場: 神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場

3) 湛水による水稻のCd吸収抑制栽培時の地耐力確保

富山県では県内全域の一般水田において、Cdの玄米への蓄積リスクを抑え、安全性を担保するため、出穂後20日間の湛水管理を基本栽培技術としている。

生育後半の湛水管理を普及定着させるためには、収穫期の機械作業に問題がないよう地耐力を確保する必要があった。そのため、中田(2011)は、中粗粒灰色低地土(粗粒質乾田)と細粒グライ土(粘質半湿田)において、後期湛水処理による地耐力の差を検討した。

水管理処理は、中粗粒灰色低地土では、中干し後に間断灌漑を継続した間断灌漑区と出穂前15

日から出穂後25日まで湛水した後期40日湛水区を設け、細粒グライ土では間断灌漑区と出穂後20日間湛水した後期20日間湛水区を設置し、土壤の物理性、コンバインの走行性を見ている。

その結果、コンバインの踏圧沈下量は、両土壤とも直進走行では水管理の処理に関わらず、3cm以下であり、後期の湛水管理を実施しても機械収穫走作業に支障はなく、中干し、間断灌漑により湛水前に地耐力を高めておくことにより、収穫期の作業性をほぼ確保できた。なお、細粒グライ土の旋回走行においては、水管理に関わらず沈下量が5~10cm程度となり、走行性が低下した(図13,14)。

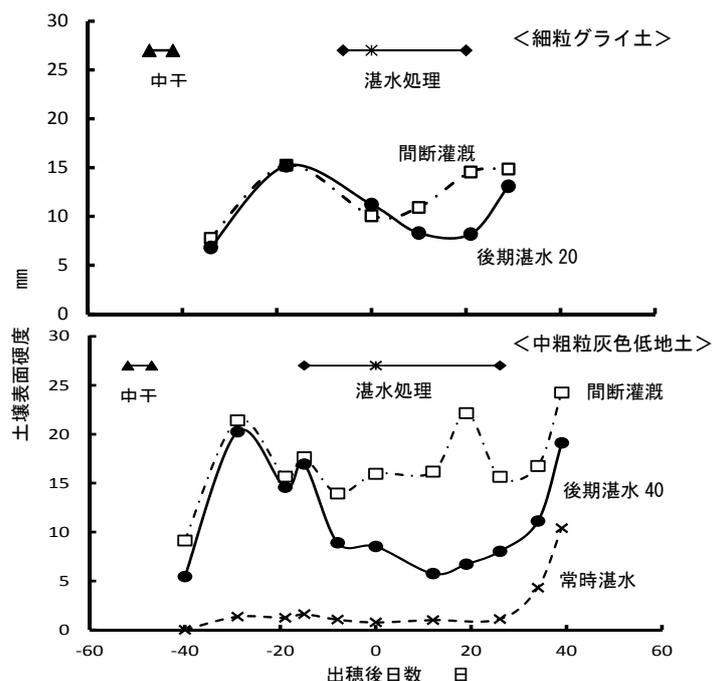


図13 水管理と土壌表面硬度の推移
中田(2007)

- 1) 硬度：山中式硬度計(平面型)で測定
- 2) 間断灌溉：中干後、間断灌溉を継続
- 3) 後期湛水 40：出穂前15日から出穂後25日までの約40日間を湛水
- 4) 後期湛水 20：出穂後の約20日間を湛水
- 5) 常時湛水：移植後から出穂後25日まで湛水を継続
- 6) 中粗粒灰色低地土ほ場：神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場、細粒グライ土ほ場：県内射水市一般田

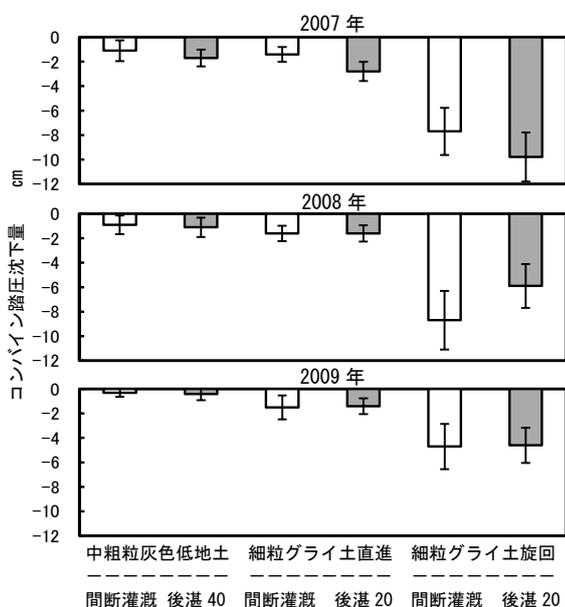


図14 湛水管理と土壌による収穫時のコンバイン踏圧沈下量
中田(2007)

- 1) コンバイン踏圧沈下量：クローラ跡の沈下深さ
コンバイン平均接地圧：17.6~19.6kPa
- 2) 間断灌溉：中干後、間断灌溉を継続
- 3) 後湛 40：出穂前15日から出穂後25日までの約40日間を湛水
- 4) 後湛 20：出穂後の約20日間を湛水
- 5) 中粗粒灰色低地土ほ場：神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場、細粒グライ土ほ場：県内射水市一般田

4) ダイズのアルカリ資材施用による吸収抑制効果
雄川・稲原(2009)は、アルカリ資材によるダイズのCd吸収抑制効果について、神通川産米地域の低濃度汚染地ほ場において検討した(表9)。

アルカリ資材施用により跡地土壌pHは5~7の範囲で変化し、ダイズ子実Cd濃度はpH6~7の範囲で 0.5mgkg^{-1} 程度から 0.25mgkg^{-1} 程度に低減され、アルカリ資材による土壌pH矯正がダイズにおいて有効であるとしている(図15)。

また、土壌溶液中のCd濃度がアルカリ資材施用による土壌pHの上昇に伴い低下することを明らかにし(図16)、土壌pHの矯正により土壌溶液のCd濃度が低下し、ダイズによる吸収量が低減された結果、子実Cd濃度が抑制されると推察している。

2. ファイトレメディエーションによる汚染土壌修復

2010年、コメ(玄米・精米)の国内基準が 1.0mgkg^{-1} から 0.4mgkg^{-1} へとより厳しく改正されたことにより、これまで以上にCd汚染米の生産リスクが全国で高まることとなった。そのため、コストの大きな客土にかわる対策手法として「Cd

表9 土壌pH矯正処理内容と各ほ場の土壌管理履歴

雄川・稲原(2009)

〈圃場 A〉						〈圃場 B〉	
処理区	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	処理区	2006年
a	—	—	—	—	—	f	—
b	熔成 600	—	—	—	粉状消石灰 274	g	粒状ALC 1500
c	熔成 600	破碎ALC 788	—	—	粉状消石灰 239	h	顆粒状消石灰 350
d	熔成 600	粉状カキ殻 295	—	熔成 600	粉状消石灰 128	i	粉状消石灰 350
e	熔成 600	粉状消石灰 197	—	熔成 600	粉状消石灰 33		
栽培作物	水稲	ダイズ	水稲	水稲	ダイズ	栽培作物	ダイズ

- 表中数値：資材施用量 gm^{-2}
- 資材
 熔成：熔成ケイ酸リン肥（とれ太郎 アルカリ分 40%）
 破碎 ALC：軽量気泡コンクリート粉末肥料（ケイエンズ アルカリ分 18%）
 粉状カキ殻：苦土セカ 2号 アルカリ分 48%
 粉状消石灰：ソフトライム アルカリ分 72%
 粒状 ALC：いなほ加工 アルカリ分 17%
 顆粒状消石灰：ライムエース アルカリ分 72%
- ほ場 B の栽培履歴：2003 ダイズ、2004 水稲、2005 保全管理
- ほ場：神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場

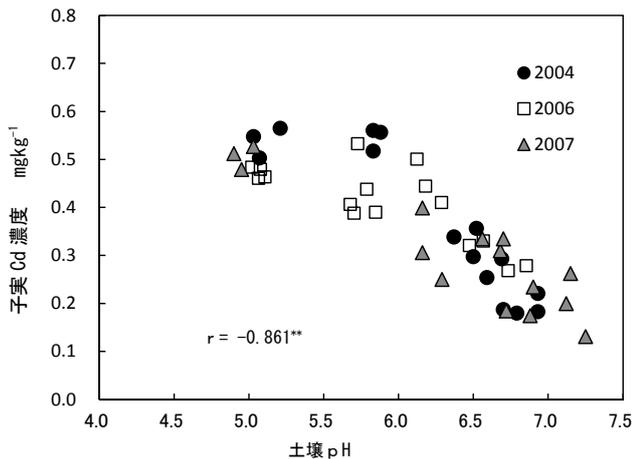


図15 成熟期における土壌pHとダイズ子実Cd濃度
雄川・稲原(2009)

- 子実 Cd 濃度：水分 12.5%換算値
- **：1%水準で有意
- ほ場：神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場
- 各年度の土壌管理：表9参照

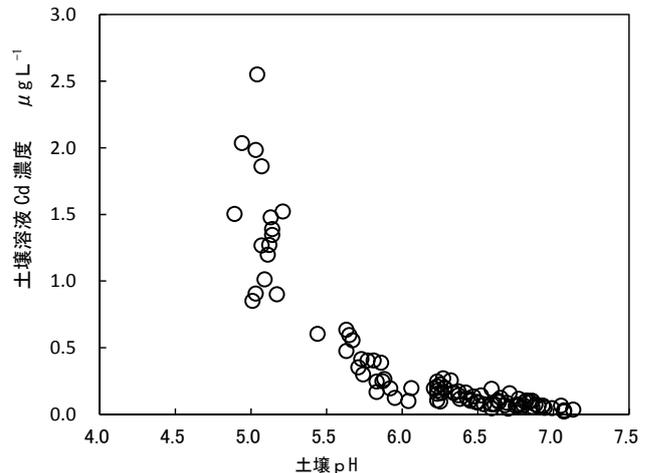


図16 土壌pHと土壌溶液Cd濃度
雄川・稲原(2009)

- 土壌溶液：2006年の栽培期間中に採取（遠心法）
- ほ場：神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場
- 2006年の土壌管理：表9参照

の高吸収植物を栽培し、ほ場外に搬出することにより、汚染土壌のCd濃度を低減させる」ことを狙ったファイトレメディエーションについて、全国で研究が行われた。富山県でも低濃度Cd汚染農地の解消を目的に、東ら（2012）が取り組んでいる。

神通川産米地域の低濃度Cd汚染ほ場（中粗粒グライ土、作土Cd濃度 $0.40mg\ kg^{-1}$ ）において、Cdの高吸収イネである品種「IR8」を中干し後、節水管理条件で4作し、Cd低減効果を検討した。その結果、作土中の土壌Cd濃度は、経年的に減少し、「IR8」栽培4作後にはほ場平均で $0.22mg\ kg^{-1}$

と約45%低減した（図17）。

「IR8」作付ほ場内でスポット栽培（16株/地点36地点/ほ場）した「コシヒカリ」の玄米Cd濃度は、4作後には $0.22mg\ kg^{-1}$ まで低下し、ほ場内の全調査地点において国内改正基準を下回ることはできた（図18）。

しかしながら、①浄化効果の持続性が不明であること、②持ち出すこととなる吸収植物体の処理法が定まらないことなど、解決すべき課題が多く、今だ、全国で実用化には至っていない。

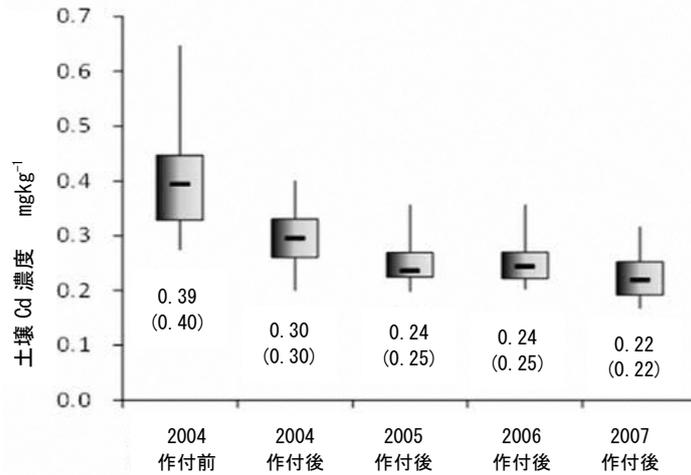


図17 水稻品種IR8作付に伴う土Cd濃度の推移

東ら (2012)

- 箱：平均±四分位点、棒：最大最小、数字（数字）：中央値（平均値）
- ほ場：神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場 24a
- 試料：2004 24点、2005～2007 36点

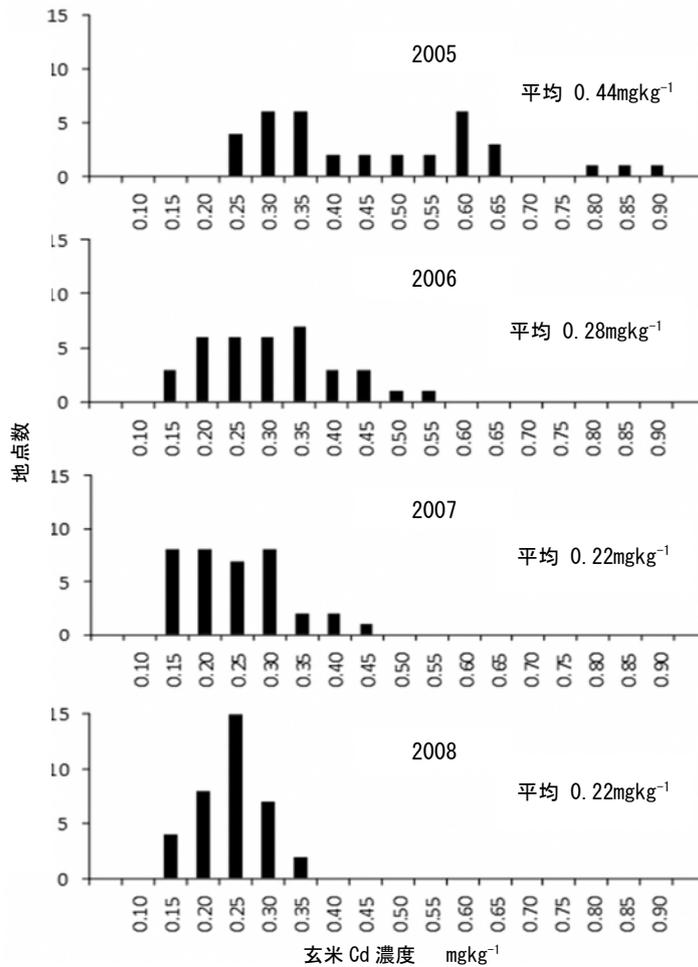


図18 水稻品種IR8作付ほ場におけるコシヒカリの玄米Cd濃度の推移

東ら (2012)

- ほ場：神通川流域産米流通対策地域の低濃度汚染ほ場 24a
- コシヒカリ：36点/ほ場、16株/地点を手植し、中央4株を成熟期に刈取、常法により玄米Cdを分析した。
- 玄米Cd濃度上の地点数は、その濃度未満の数を表す。

3. 土壤理化学性によるリスク評価の可能性

農作物の汚染リスクを抑え、全県的な対策を実施するには、地域ごとに汚染リスクを評価しリスクに応じた対策を行うことが重要である。そのために、石黒(2005 未発表)は、水田土壤属性値により、玄米Cd濃度を実用レベルで予測が可能か検討した。

土染法の細密調査などの約1,100点の土壤属性値を用い、多変量解析(主成分分析、重回帰分析、数量化Ⅱ分析)を実施した。

その結果、主成分分析プロット、属性間の相関関係から、M/10HClCd濃度、CECなど3属性と土壤タイプ属性による重回帰式を得たが、リスク評価には不十分であった(図19)。

さらに土壤属性値をグループ化し、水稻の早晩性値も含め、数量化Ⅱ分析をしたところ、全体の判別の中率(1:玄米Cd<0.2、2:0.2≤玄米Cd<0.4、3:0.4≤玄米Cd)は51%となり、「①土壤型は黒色・黄褐色土壌、②CECは高く、③早生品種」ほど、リスクは低くなるとの、現場での実態を再現することは可能であるとしている(表10、図20)。

$$\begin{aligned} \text{玄米 Cd} = & +0.004 \times \text{土壤 Cd (M/10HCl)} \\ & -0.023 \times \text{CEC} \\ & -0.075 \times \text{pH (H}_2\text{O)} \\ & + \left(\begin{array}{l} +0.010 (\text{土壤型 1}) \\ -0.114 (\text{土壤型 2}) \\ -0.079 (\text{土壤型 3}) \\ 0 (\text{土壤型 4}) \end{array} \right) \\ & +1.098 \end{aligned}$$

R² 0.141 (R 0.376)

注) 土壤型 1: 強グライ・グライ土
 土壤型 2: 灰色・灰褐色土
 土壤型 3: 黒色・黄褐色土
 土壤型 4: 礫層・礫質土 施肥改善事業分類

図19 土壤属性値による玄米Cd濃度の推計(重回帰分析) 石黒(2005 未発表)

表10 土壤属性値による玄米Cd強度の判別結果(数量化Ⅱ) 石黒(2005 未発表)

判別群	群			
	全体	1	2	3
全体	1115	510	248	357
群1	328	240	41	47
群2	433	171	140	122
群3	354	99	67	188
判別的中率	全体	50.9		
	群1: 玄米Cd<0.2	47.1		
	群2: 0.2≤玄米Cd<0.4	56.5		
	群3: 0.4≤玄米Cd	52.7		

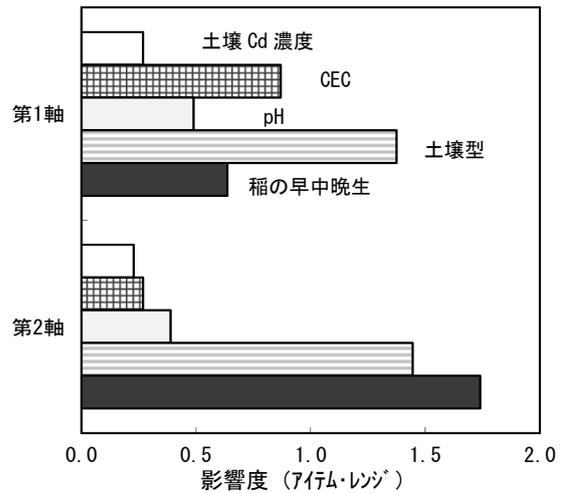


図20 玄米Cdレベル判別の土壤属性の影響度(数量化Ⅱ)

石黒(2005 未発表)

注) 凡例: 表 10、図 19 参照

以上より、リスクに関わる質的データの影響度を把握することはできるが、汚染リスクそのものを土壤属性データにより判断することはできないと結論付けている。

4. 土壤汚染に関連する各種土壤カドミウム値の関係

農用地のCdの土壤汚染対策については、土染法に基づく玄米Cd濃度とM/10HCl抽出土壤Cd濃度を基礎データとして、汚染状況の把握など種々の対策が進められてきた。

一方、宅地、工場跡地等の一般土壤の汚染対策を進めるため、1991年に環境基本法に基づく土壤環境基準が制定され、2002年には土壤汚染対策法(以下、対策法)が制定されている。

これら土壤のCd汚染に関わる法令の土壤基準値の分析方法(抽出法)はそれぞれ異なっており(表11)、農用地のCd汚染対策を進めるうえで、基準値間の関連を明確にすることが必要であると考えられた。

そのため、石黒(2005 未発表)は、神通川流域の対策地域において採取された作土土壤24点(グライ土・乾田22点、黒ボク・黄色土2点)を用い、各種抽出法に基づき土壤中のCd濃度を測定し、以下の結果を得ている。なお、Cd濃度の測定は、各種抽出液をフレーム原子吸光光度計による直接法により行っている。

① M/10HCl抽出Cd濃度含有率(M/10Cd値)と1.0MHCl抽出Cd含有率(1MCd値)との間には、高い相関関係があり、1MCd値を既知の0.1MCd値より推計することは可能であった(図21)。

表11 各法令に基づくCd測定法

法令	測定法	備考
農用地の土壤汚染防止等に関する法律	M/10塩酸抽出により溶出するCd値	農林省令第47号 1971
環境基本法 (土壤環境基準)	検液 (純水による浸とう液) 中のCd値 (基準値 0.01mgL ⁻¹)	環境省告示第46号 1991
土壤汚染対策法	1M塩酸抽出により溶出するCd値 (含有基準値 150mgkg ⁻¹)	環境省告示第19号 2002

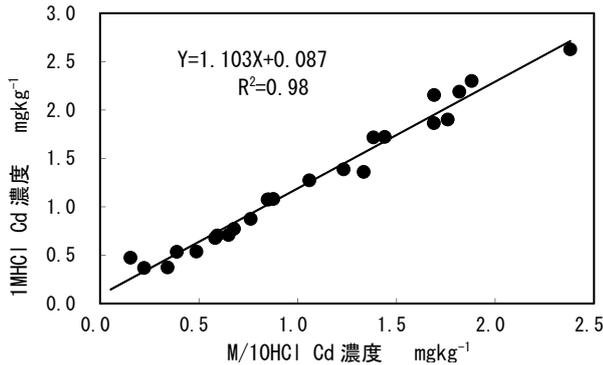


図21 M/10HCl抽出土壌Cd濃度と1M HCl抽出土壌Cd濃度の関係
石黒 (2005 未発表)

注) 試料: 神通川流域農用地土壤汚染対策地域において採取した作土土壤 24 点 (グライ土・乾田 22 点、黒部ク・黄色土 2 点)

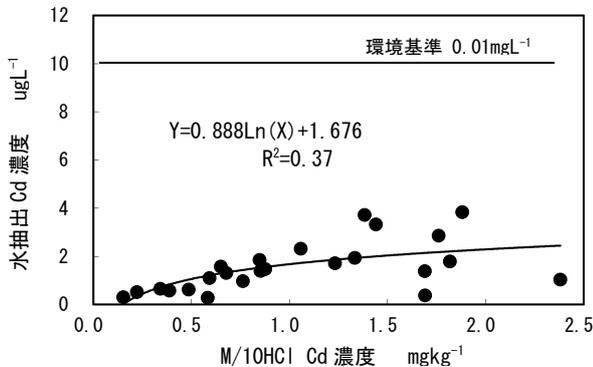


図22 M/10HCl抽出土壌Cd濃度と水抽出土壌Cd濃度の関係
石黒 (2005 未発表)

注) 試料: 図 21 参照

- ② M/10Cd値と環境基準のための検液中のCd含有率 (水Cd値) との間には明確な関係がみられないが、供試の範囲において土壤環境基準を超過することはなかった (図22)。
- ③ 対策法で定められている1MCd値は、土壤中の全量Cdにほぼ相当し、1MCd値により全量Cd含有率を推測することが可能であった (図23)。

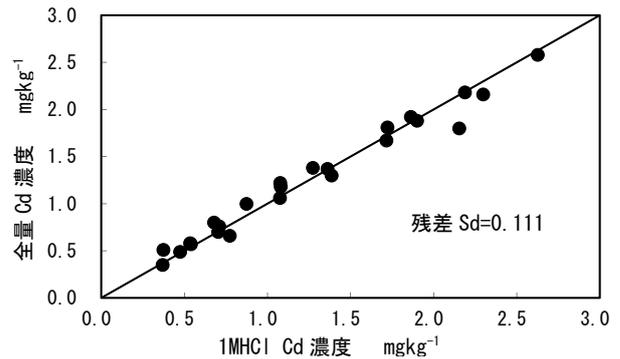


図23 1M HCl抽出土壌Cd濃度と全量土壌Cd濃度の関係

注) 試料: 図 21 参照
石黒 (2005 未発表)

IV おわりに

本稿では、1989年以降に農業研究所において取り組んできた産米流通対策地域 (以下 産米地域) などの低濃度Cd汚染農地に関わる調査研究から、未発表の知見を中心にとりまとめ報告した。その要点は次のとおりである。

- ① 低濃度のCd汚染農地である産米地域に導入された客土工法は、神通川流域では「埋込客土」と「上乘せ客土」、黒部地域では「上乘せ客土」であること
 - ② 低濃度Cd汚染農地 (神通川流域) の玄米Cd濃度は、ほ場間、ほ場内での大きなバラツキを考慮し—隣接ほ場間で2倍以上、ほ場内でCV20~30%の変異—、同一ほ場内では5~10地点、同一地点では10株程度の試料により、汚染の有無を判断すべきであること
 - ③ 出穂前後40日程度の湛水管理により低濃度Cd汚染ほ場において玄米Cdを国内基準(0.4mgkg⁻¹)以下に抑え、さらにアルカリ資材の併用により水稻の生育・収量の安定が図られること
 - ④ 中干し、間断灌漑により中粗粒灰色低地土、細粒グライ土ともに地耐力を高めることにより、Cd吸収抑制のための湛水管理(20・40日間)を実施しても収穫作業にほぼ支障が生じないこと
 - ⑤ アルカリ資材による土壤pH矯正が、ダイズ子実のCd濃度抑制に有効であること
 - ⑥ 高Cd吸収イネ「IR8」の4作により、効果の持続性は不明であるが「コシヒカリ」の玄米Cd濃度を国内基準以下にすることができること
 - ⑦ 土壤属性値により汚染リスクを判断することは困難であること
- 食品としてのコメが第一に具備しなければなら

ないのは、「安全で、安心して食することができる」ことである。富山県ではCdによる農地の汚染が顕在化して以来、40年以上にわたって地元地権者・耕作者、市・町、原因企業らと緊張感をもった信頼関係のもと、汚染農地の解消に努めてきた。

これまでの取組みの道程は、全国に先駆けて低濃度汚染地域である産米地域において客土による恒久的な復元事業を実施するなど、抜本的で速やかな取組みにより、生産者と消費者の双方から食としての信頼を得るためのものであり、安全性確保のための様々な取組みを着実に実施していくことにより、科学的根拠（基準）に基づく「安全」に「信頼」を付加・醸成し、「安心」を担保することであった。

日本において食品から摂取するCd量の半分はコメ由来であり、今後もコメのCd濃度を低減させるため関係機関が一体となったたゆまぬ努力が必要である。また、近年、コーデックス委員会においてコメ中のヒ素の基準が策定されるなどしており（農水省 2016）、Cd以外の汚染物質についても俯瞰し、コメの食品としてのリスクを総体として低減させていくことが重要である。

生産者が実践できない技術、また、ある一面だけを捉えたピンポイントの個別技術は現場では無意味であり害である。さらに技術の質も「生産者が実践できそうだ、よさそうだ」と感覚的にも受け入れられるレベルでなければ普及は望めない。現場を見据えた視点による現場力のある技術の開発が、求められている。

謝辞：本稿の一連の調査研究は、小竹 章氏、山田信明氏、田中善憲氏、太田 清氏、鹿島英治氏、田中義昭氏、金村徳夫氏らの主導・指導・協力のもと、農業試験場土壌肥料課（現、農業研究所土壌・環境保全課）の課員らにより行われたものである。各位の汚染農地解消への長年の辛苦に対し、心より敬意を表したい。

文献

- 東英男・石黒哲也・山田宗孝・雄川洋子・稲原誠 (2012) 水稲品種「IR8」を用いたカドミウム汚染水田における土壌浄化. 土肥誌. 83: 546~554.
- 石黒哲也・山田信明 (1997) 水稲1穂内における着粒位置別の玄米のカドミウム蓄積. 土肥誌. 68: 629~633.
- 稲原誠・雄川洋子・東英男 (2007) 生育後期の湛水管理による水稲のカドミウム吸収抑制. 土肥誌. 78: 149~155.
- 稲原誠・雄川洋子・東英男 (2007) 異なる水管理下でのアルカリ資材による水稲のカドミウム吸収抑制効果. 土肥誌. 78: 253~260.
- 環境庁 (1994) 土壌汚染防止対策事業実施要領 (平成6年7月26日環水規第171号)
- 環境省 (2016) 平成27年度農用地土壌汚染防止法の施行状況について.
<http://www.env.go.jp/press/103341.html>
- 中田均 (2011) 湛水による水稲のカドミウム吸収抑制において地耐力確保が可能な水管理技術. 土肥誌. 82: 405~407.
- 農林省 (1971) 農用地土壌汚染対策地域の指定要件に係るカドミウムの量の検定の方法を定める省令 (昭和46年6月24日農林省令第47号)
- 農林水産省 (2016) 食品中のヒ素に関する情報.
http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_as/index.html
- 雄川洋子・稲原誠 (2009) アルカリ資材を用いた土壌pH矯正によるダイズのカドミウム吸収抑制. 土肥誌. 80: 589~595.
- 応用統計ハンドブック編集委員会編 (1999) 応用統計ハンドブック. 養賢堂. p706~722.
- 山田信明 (2007) 農用地における重金属汚染土壌の対策技術の最前線. 土肥誌. 78: 411~416.
- 柳沢宗男・新村善男・山田信明・瀬川篤忠・喜田健治 (1984) 神通川流域における重金属汚染の実態調査と土壌復元工法に関する研究. 富山農試報 15: 1~110.

水稲の不耕起 V 溝直播栽培における改良型覆土装置の効果の検証

南山 恵・野村幹雄

Megumi MINAMIYAMA and Mikio NOMURA : Efficiency of Improvement for Soil
Covering Device on V-Furrow No-Till Direct Seeding of Rice

富山県における2016年度の水稲作付面積（子実用）は38100haであり（農林水産省，2016）、その大部分は移植栽培によるものである。しかし、近年、作業の省力化、低コスト化の観点から直播栽培が増加しており、2016年度では3400haを超えている（富山県農林水産部 2016）。普及している主な直播栽培様式は、カルパー土中湛水直播栽培、鉄コーティング湛水直播栽培に加え、乾田直播の不耕起V溝直播栽培（以下、V溝直播栽培）が挙げられるが、V溝直播栽培は他の直播栽培様式に比べ「作期および作業の分散」「倒伏軽減」「収量の安定化」などのメリットがあることから、導入面積は年々増加している。

V溝直播栽培では、作溝輪が開口幅20mm、深さ50mmのV字型に溝を成形し、その中に播種をする。出芽の安定化を図るため、播種後のV溝上で分銅を引きずる覆土装置が利用されている。一方、本県では春先の降水量が多く、播種時の土壌が湿潤で、分銅型覆土装置ではV溝上部の土壌が崩れにくい。そのため、覆土が不十分のまま無降雨日が続く年次では出芽の遅れや不揃いが問題となっている。これに対し、2015年度までに土壌が湿潤でも確実に覆土が実施できるかき棒型覆土装置が開発されている（農林水産省委託プロジェクト研究「攻めの農林水産業の実現に向けた革新的技術緊急展開事業」成果）。これは、リンク機構とスプリングによる力で鋼材をV溝に強く押し当てて、V溝の肩の土壌を削り出せるよう改良された覆土装置である（第1図）。このかき棒型覆土装置は播種後14日で発芽率は82.5%となり、従来の分銅型覆土装置の69.2%に比べ、発芽の促進に効果があることがわかった（富山県農林水産総合技術センター農業研究所，2016）。

本研究では、この改良型装置の出芽・苗立ちの安定性を2016年度の気象条件において検証した。

I 材料および方法

富山県農林水産総合技術センター農業研究所内の圃場（沖積砂壤土）において、「コシヒカリ」を供試して試験を行なった。前年11月に代かきを行なった後、自然落水し、2016年4月19日にかき棒型覆土装置をつけた播種機を用いて、覆土の有無で試験区（面積4m×15m）を設定した。播種溝は通常の設定幅20mm、深さ50mmで設定した。播種量は乾籾で6.7kg/10aとし、肥料は全量基肥肥料（LPss乾田直播専用 LPs40:LP70:LPss直播用=10:10:20）を窒素成分で9.5kg/10a施用した。

播種時には、土壌水分と山中式土壌硬度計による土壌表面硬度および播種溝の形状を測定した。播種後7日目に、播種溝を含む土壌をブロック状（長さ20cm×幅10cm×高さ10cm）で掘り取り（2反復）、種子を露出した土壌断面において、種子を覆う土の厚さを1反復10回ずつ測定した。また、各区に播種溝30cmの長さ（17粒程度の種子）で調査区を設定し、4反復で種子をサンプリングして、種子水分含有率、発芽率、苗立ち率（本葉2葉抽出）および平均幼芽長（鞘葉または本葉の抽出部分の長さ）を調査した。

II 結果と考察

1. 播種時の土壌物理性と覆土の状況

播種時の土壌水分（w/w）は覆土有り区で27.9±2.2%、覆土無し区で27.1±1.2%となり、差は認められなかった。山中式土壌硬度計の標準型による土壌硬度は覆土有り区で16.0±3.9mm、覆土無し区で19.0±2.6mmとなり、平型による土壌硬度は覆土有り区で33.7±3.2mm、覆土無し区で34.4±3.5mmとなり、差は認められなかった。また、播種直後の播種溝の形状について、開口幅

は覆土有り区で 20.9 ± 4.1 mm、覆土無し区で 17.4 ± 0.8 mmとなり、深さは覆土有り区で 29.0 ± 6.6 mm、覆土無し区で深さ 44.1 ± 3.9 mmとなり、覆土有り区が覆土無し区に比べ開口幅が広く深さが浅くなる傾向になった(第2図、第1表)。これは、覆土によって、V溝の肩の土が削られ開口幅が広くなり、V溝の中の種子の上や周りに覆土が存在したため、見かけ上の深さが浅くなったと考える。また、播種後7日目の覆土の状況については、かき棒によって直接V溝の中に落ちた覆土に加え、V溝の肩に付いた覆土がV溝の中に落ちて種子の周りに密着して覆土の厚さが確保されたと考える。

2. 種子の吸水と発芽・苗立ち

種子の水分含有率は、播種後2および9日に日降水量11および50mmと適度に降雨があったため(第3図)、播種後13日まで各区とも同様に上昇した。その後は、かき棒型覆土装置で播種を行なった覆土有り区で種子の吸水が進み、種子の水分含有率が覆土無し区より高く推移した(第2表)。発芽は播種後13日で確認され、覆土有り区の発芽率は61.0%で、23.6%となった覆土無し区の2倍以上となり、有意に高くなった。平均幼芽長は播種後17日から覆土有り区で長く推移し、有意差が認められた(第2表、第4図)。このよ

第1表 播種時の土壌物理性、溝の形状および播種7日目の覆土の厚さ。

覆土の有無	土壌水分 (w/w) (%)	土壌硬度 (mm)		溝の形状		覆土の厚さ (mm)
		標準型	平型	幅 (mm)	深さ (mm)	
有	27.9 ± 2.2	16.0 ± 3.9	33.7 ± 3.2	20.9 ± 4.1	29.0 ± 6.6	13.6 ± 7.8
無	27.1 ± 1.2	19.0 ± 2.6	34.4 ± 3.5	17.4 ± 0.8	44.1 ± 3.9	0.0 ± 0.0

平均値±標準偏差。土壌硬度は山中式硬度計による測定値。

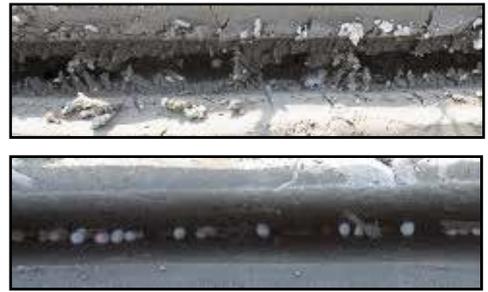
第2表 播種後の種子水分および発芽、苗立ち状況の推移。

測定項目	覆土の有無	播種後日数 (日)					
		6	8	13	17	20	24
種子水分含有率 (%)	有	29.8 (1.8)	29.8 (1.0)	37.5 (0.4)	48.0 (3.3)	56.7 (3.7)	64.8 (0.8)
	無	30.3 (0.9)	29.7 (1.5)	37.0 (1.0)	46.1 (2.3)	48.2 (3.2)	57.5 (2.5)
	t 検定	ns	ns	ns	ns	*	**
発芽率 (%)	有	0 (0.0)	0 (0.0)	61.0 (3.4)	96.7 (2.0)	98.7 (2.6)	100.0 (0.0)
	無	0 (0.0)	0 (0.0)	23.6 (19.3)	97.0 (1.7)	98.9 (2.3)	94.1 (5.5)
	t 検定	ns	ns	**	ns	ns	ns
平均幼芽長 (mm)	有	0 (0.0)	0 (0.0)	1.6 (0.1)	10.1 (1.4)	20.3 (4.4)	44.8 (4.2)
	無	0 (0.0)	0 (0.0)	1.7 (0.2)	6.4 (0.3)	12.7 (3.0)	30.0 (3.9)
	t 検定	ns	ns	ns	*	*	*
苗立ち率 (%)	有	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	48.9 (13.1)	93.5 (4.6)
	無	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	39.6 (10.3)	77.4 (20.9)
	t 検定	ns	ns	ns	ns	ns	ns

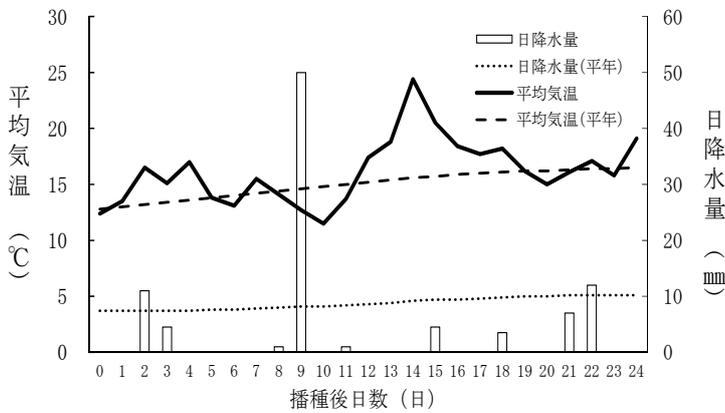
() 内は標準偏差。*, **は5%水準, 1%水準でそれぞれ有意差あり。nsは有意差なし。



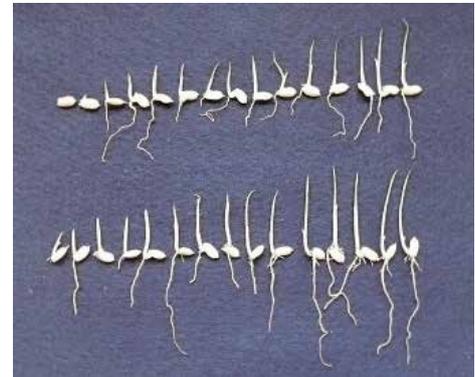
第1図 かき棒型覆土装置(左)と分銅型覆土装置(右)



第2図 覆土処理後の溝の形状覆土有り区(上)と覆土無し区(下)



第3図 播種後の気象条件



第4図 発芽状況(播種20日後)覆土有り区(下)と覆土無し区(上)(上)

うな発芽状況を反映して、苗立ち率も覆土有り区で高く推移し、播種後24日で覆土有り区は苗立ち率93.5%となった。苗立ち率に有意差は認められなかったが、覆土有り区では苗立ち率の標準偏差が小さく、ばらつきの小さい安定した苗立ちであった。覆土により種子の吸水が進んだことで、播種後20および24日で種子の水分含有率が覆土有り区で有意に高くなり、覆土有り区の安定した苗立ちに影響したと考える。

V溝直播栽培は播種溝がVの形となっており、そこに種子が接していることで土壌からの水分を吸収し、発芽が容易に可能となる。覆土有り区ではさらにかき棒型覆土装置によりかき出された土壌が種子を覆うことで、土壌からの吸水効率が高まり、発芽が促進されたと考える。また、2016年度では播種時の土壌水分が適正で(富山県農林水産総合技術センター農業研究所, 2011)、さらに播種後に適度な雨が降ったため、覆土無し区で

も順調に発芽が進んだが、このような条件でも覆土の効果は明らかであった。播種後の降水量が少なく土壌が乾いた条件では覆土の効果がさらに高まると考えられる。覆土の土壌の量は、少量区の方が多量区に比べ、出芽率が高いとする報告がある(岡部ら 2005)。本研究でも第2図のように覆土処理直後に種子が隠れる程度の覆土量で発芽促進効果が認められており、播種溝をすべて埋め尽くすほど多量にする必要はないと思われる。

以上、かき棒型覆土装置はV溝直播栽培における出芽苗立ちの安定化に寄与するものと考えられる。

Ⅲ 摘要

不耕起V溝直播栽培において、従来の分銅型覆土装置を使用しても土壌水分が高い場合には種子に十分な覆土が行われない。さらに、播種後の気

象条件によっては種子の吸水が進まず、出芽や苗立ちが不安定になることも多い。そこで、新たに開発された「かき棒型覆土装置」を使用したところ、種子の覆土が可能となり、出芽・苗立の促進、安定化につながった。

引用文献

- 農林水産省北陸農政局(2016)農林水産統計.
- 岡部繭子ら(2005)耕うん・播種法の相違が乾田直播水稻の出芽・生育ならびに収量に及ぼす影響, 日作紀 74(2), p125~133.
- 富山県農林水産部(2016)乾田V溝直播機の覆土装置の改良による苗立安定, 平成27年度農業分野試験研究の成果と普及(富山県農林水産総合技術センター農業研究所), p1~2.
- 富山県農林水産部(2016)生産部会小委員会資料(平成28年11月17日)
- 富山県農林水産部(2011)沖積砂壤土の乾田V溝直播栽培における播種時の適正な土壌水分, 平成22年度農業分野試験研究の成果と普及(富山県農林水産総合技術センター農業研究所), p3~4.

タマネギの春まき作型確立のための各種病原菌の発病温度特性の把握

守川俊幸・三室元気

I 緒言

富山県は、水資源に恵まれ、耕地の基盤整備も進んでいることから、水稻に特化した農業が成立し、園芸品目の生産量は全国でも低い水準にある。一方、国際競争が激化し、さらにコメの消費量が減少するなか、園芸品目を組み入れた複合的な水田農業の確立が、収益性の向上あるいは経営の安定化のため、以前より強く求められてきた。

基盤整備進んだ大中区画の水田圃場は、機械化による省力生産に取り組みやすい。砺波地区ではこれに注目し、2009年ごろから機械化が容易なタマネギ栽培に取り組み始めた。

国内におけるタマネギ栽培は、春まき秋どり作型の「北海道」、北海道を除く本州以南では秋まき春どりが主体で、「佐賀」、「淡路」などが主要な産地となっている。一方、北陸から東北にかけてのタマネギの単収は低く、大きな産地は存在しない。これは冬季の積雪により、越冬が不安定で春の生育量が十分に確保できないことが要因とされている。

こうしたなか、積雪の影響を受けない春まき作型の開発が求められているが、本作型は収穫期が

高温・多湿条件のため、腐敗性の病害が多発して生産が安定しないことが予想されている。本作型を成立させるためには腐敗対策の確立が必要であるが、防除の対象とすべき病害は定かでない。そこで、各種タマネギ病害の発病温度特性から、研究対象とする病害を推定しようとした。

本研究は、農林水産省食品産業科学技術研究推進事業(24006)「東北・北陸地域における新作型開発によるタマネギの端境期生産体系の確立」で実施したものであり、参画機関には終始、ご協力を頂いた。また、東北農業研究センター白川隆博士、元北海道立道南試験場の田中民夫博士には、供試菌株の提供を頂いた。併せてお礼申し上げる。

II 材料および方法

(1) 供試菌

本試験には、第1表に示すタマネギあるいはネギ等から分離された細菌および糸状菌を供試した。細菌は*Burkholderia gladioli* To8701、Bgl0809株、*B. cepacia* 24OnT-05、104-1株、*Erwinia rhapontici* Erha0804株、*Pantoea ananatis* Pa-

表1 発病の温度特性の調査に用いた病原菌

病名	学名	菌株	分離年	分離源	発生地	備考 ^{a)}
りん片腐敗病	<i>Burkholderia gladioli</i>	To8701	1987年	タマネギ	北海道	道南農試
		Bgl0809	2008年	タマネギ	兵庫	野茶研
	<i>Pantoea ananatis</i> (= <i>Erwinia ananas</i>)	Pa-ana0807	2008年	タマネギ	兵庫	野茶研
腐敗病	<i>Erwinia rhapontici</i>	Erha0804	2008年	タマネギ	兵庫	野茶研
	<i>Burkholderia cepacia</i>	24OnT-05	2012年	タマネギ	富山	
細菌 軟腐病		104-1	2012年	タマネギ	-	
	<i>Pectobacterium carotovorum</i>	9214cc	1992年	ネギ	富山	
	(= <i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>carotovota</i>)	9215cc	1992年	ネギ	富山	
		9216cc	1992年	ネギ	富山	
	<i>Pectobacterium</i> sp.1	9226sp	1992年	ネギ	富山	
	<i>Pectobacterium</i> sp.2	24Car-01	2012年	ニンジン	富山	
	<i>Dickeya</i> sp.(= <i>Erwinia chrisanthemi</i>)	9237chr	1992年	ネギ	富山	
糸 乾腐病	<i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cepae</i>	Oni23-3	2011年	タマネギ	富山	
状 黒かび病	<i>Aspergillus niger</i>	As-30	2012年	タマネギ	富山	
		As-47	2012年	タマネギ	山形	

a) 分離元を示す。道南農試は田中民夫博士、野茶研は白川隆博士からの分譲。未記載は当所保存菌株。

ana080株、*Pectobacterium carotovorum* 9214cc、9215cc、9216cc株、*Pectobacterium* spp. 9226sp、24Car-01株、*Dickeya* sp. 9237chr株の5属8種12菌株を供試した。このうちニンジンおよびネギ由来の*Pectobacterium* spp.の種は未同定である。糸状菌として*Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae* Oni23-3株、*Aspergillus niger* As-30、As-47株を供試した。なお、貯蔵腐敗の主要な原因病害として*Botrytis* 属菌による病害が知られているが、高温時に問題となる病害ではないことから、今回の試験には供試しなかった。

(2) 接種と発病調査

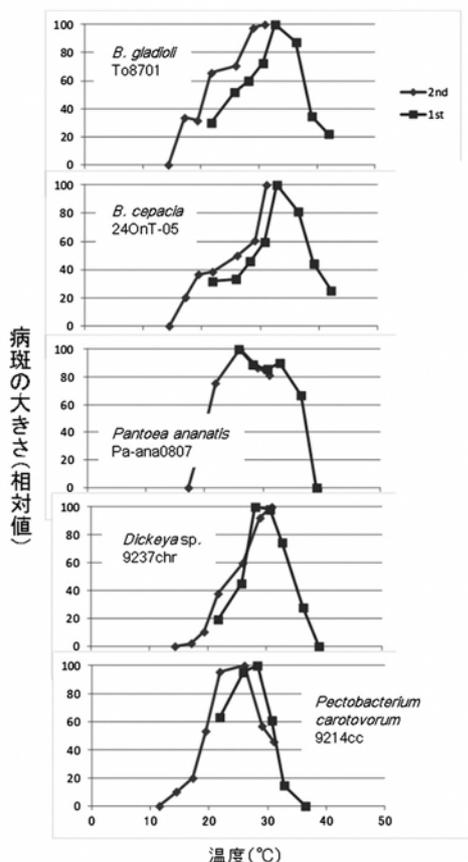
細菌はPPGA斜面培地28℃2日間培養後、約109 cfu/mlに調整して接種源とした。次に、市販の北海道産のタマネギ鱗茎の外皮と最外鱗片を除去し、赤道面の鱗片に細菌懸濁液50 μl滴下し、滴下面を鋭利な使い捨てのメスNo.11で突き刺して接種した。なお、各菌株4鱗茎に各1か所接種

し、試験は1～3回繰り返した。接種後は、密閉容器内に入れ、5～44℃(3～5℃刻み)の各温度下で静置した。接種2～3日後に、病斑の長径を計測した。

糸状菌のうち、*A. niger*はPDA斜面培地で培養、*F. oxysporum*はPS液体培地で振とう培養し、得られた分生子あるいはbud cellを約 10^8 conidia(cells)/mlに調整し、細菌と同様に接種したが、4鱗茎にそれぞれ3か所接種した。接種後は各温度で静置し、接種9日後に病斑の長径を調査した。

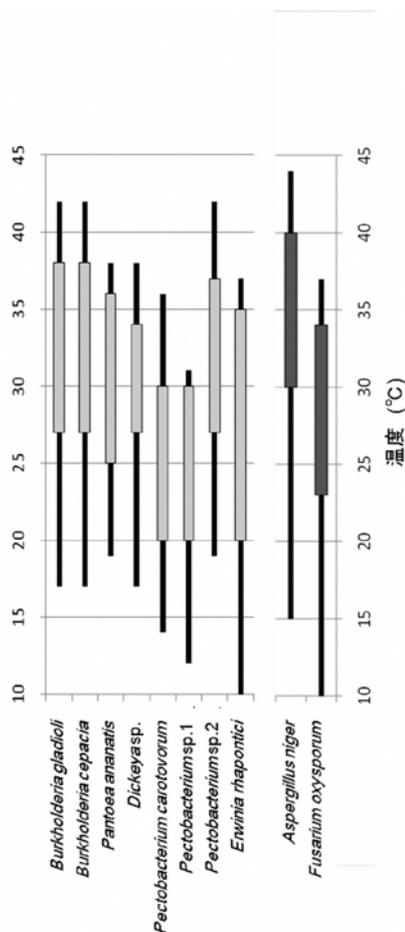
Ⅲ 結果

本研究において、同一種の菌株間の発病温度特性に差が認められなかった(data not shown)。好適発病温度域が30℃以上の高温性の病原細菌は*B. gladioli*、*B. cepacia*、*Pectobacterium* sp.2、*Dickeya* sp.、*P. ananatis*であった(第1、2図)。このうち、最も腐敗能が高いのは*Dickeya* sp.で(第



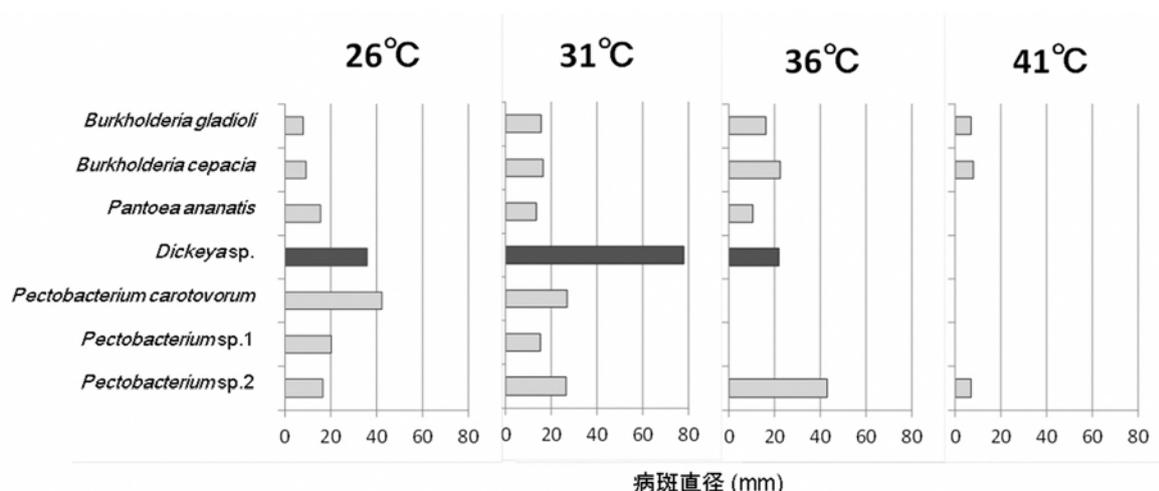
第1図 温度と各種病原細菌の病斑径の関係 (一部抜粋)

注)至適温度の病斑径を100とした場合の値
調査は温度域を変えて実施(1st, 2nd)



第2図 各種病原菌の発病温度域

注)太い帯は各接種菌の最大病斑を100とした時の60～100の範囲)



第3図 各種病原細菌の温度別の病斑直径

注) *Dickeya* sp.は接種2日後、その他は3日後に調査

3図)、好適条件で接種2～3日後には鱗茎全体が著しく軟化腐敗した。また、多くの細菌が40℃以上では病徴を発現しなかったが、*B. gladioli*、*B. cepacia*、*Pectobacterium* sp.2は41℃でも病斑の拡大が認められた(第2、3図)。なお、タマネギの軟腐病菌として記載されている*P. carotovorum*の発病適温は25℃前後で、36℃以上になると病斑の拡大は停滞した。

糸状菌病では、*F. oxysporum*の好適発病温度域が28～30℃であるのに対し、*A. niger*の好適発病温度域が35～40℃と明らかに高く、鱗茎に高温障害を生じる44℃でも病斑が拡大した。一方、12℃以下では一部の病原菌を除き病斑拡大が認められなかった(第2図)。

IV 考察

タマネギはネギとは異なり「梅雨」を越す作型で成功している産地は無く、梅雨期に発生する腐敗性病害に弱い作物である。このため、富山県において新たに春まき作型を成立させるには、腐敗性病害の防除対策の確立が必要である。一方、防除試験の対象とすべき病害の種類が不明なことから、タマネギ、ネギ等の野菜から分離された細菌および糸状菌を用い、各病原の発病温度特性を調査した。その結果、高温時に収穫期をむかえる春タマネギ栽培で注意すべき病害は、まず、高温性の*B. gladioli*、*B. cepacia*、*Pa. ananatis*および腐敗能の高い*Dickeya* sp.による細菌病、そして*A. niger*による黒かび病であると考えられた。また、秋ま

きタマネギの重要病害である*Pe. carotovorum*による軟腐病や*F. oxysporum*による乾腐病も慢性的な被害を及ぼすものと予想された。

以上の病害の腐敗の速度はそれぞれ異なるが、タマネギは生鮮野菜に比べ、長期間、市場に流通あるいは保管されるものであり、出荷先で大きな問題を引き起こす。特に細菌性の鱗茎腐敗の多くは、悪臭を放ち、周囲を汚すことから、十分な防除対策が必要である。本研究の結果から、収穫後は10℃以下で貯蔵することにより、細菌性病害や黒かび病の発生が抑制できるものと推察される。ただし、搬出後は再発するリスクが高いことから、圃場での発生そのものを防ぐ必要があると考えられた。

なお、本研究の結果をもとに、筆者らは細菌病では*B. gladioli*、*Pa. ananatis*、*Pe. carotovorum*を、糸状菌病は*A. niger*と*F. oxysporum*を対象に防除試験に取り組んできた。その後、春まき作型の圃場で実際に自然発生し、貯蔵腐敗を引き起す病害は上に示すものが多く、想定通りの発生様相となった。このように、病原菌の生理・生態的特性を理解しておくことは、新たな作型開発に取り組む上で重要であると考えられた。

V 摘要

春まきタマネギ栽培で防除対象とすべき病害を特定するとともに、収穫後の適切な温度管理条件を定めるため、各種病原菌の鱗茎における発病温度特性を調査した。その結果、発病適温が30℃以

上の病原細菌は*Burkholderia* spp., *Dickeya* sp., *Pantoea ananatis*であった。多くの細菌が40℃以上では病徴を発現しなかったが、*Burkholderia* spp.は40℃以上でも病斑の拡大が認められた。一方、*Pectobacterium carotovorum*の発病適温は25℃付近で、36℃以上になると病斑拡大は停滞した。糸状菌病では、乾腐病が28~30℃であるのに対し、黒かび病の発病適温が35~40℃と明らかに高く、鱗茎に高温障害を生じる44℃でも病斑が拡大した。10℃以下では一部の病原菌を除き病斑拡大が認められなかった。7~8月の高温多湿期に収穫期を迎える本春まきタマネギ栽培で注目すべき病害は、既往の主要病害に加え、*Burkholderia* spp., *Pa. ananatis*, *Dickeya* sp.による細菌病、そして黒かび病と予想される。

引用文献

- 白川 隆・西口真嗣・山内智史 (2010) *Pantoea ananatis*によるタマネギ鱗茎腐敗症の発生. 日植病報 76(3):176.
- 守川俊幸・西口真嗣・白川 隆・宮元史登・長谷川優・田村美佳・山崎 篤 (2014) *Pantoea ananatis*によるタマネギの被害と育苗期の防除. 関東病虫研報 61:175.
- 守川俊幸・李載洪・梅沢順子・西畑秀次・多賀由美子・小泉紀世 (2001) 富山県で分離されたネギ軟腐病菌の同定および収穫後の調製・管理による本病の発病抑制. 北陸病虫研報 49:23-30.

Temperature Characterization of Pathogenesis of Onion Pathogens for Development of Spring-Sowing Summer-Harvesting Culture.

Toshiyuki MORIKAWA and Genki MIMURO

Summary

Spring-sowing summer-harvesting cultivation of onion is now conducting in Toyama Prefecture. However, the harvest season of this cropping type will be hot and humid condition, so some rot diseases are expected to several problems. We estimate the important pathogens by the temperature characteristics of onion rot caused by each pathogen.

We should be noted to onion pathogens, *Burkholderia gladioli*, *B. cepacian*, *Pantoea ananatis*, *Dickeya* sp., *Asergillus niger*, *Pectobacterium carotovorum* and *Fusarium oxysporum* on this cultivation.

富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究報告 第8号

富山県農林水産総合技術センター農業研究所研究報告 第8号

平成30年3月

編集 富山県農林水産総合技術センター 農業研究所

発行 富山県農林水産総合技術センター所長

鶴山 元紀

富山市吉岡1124-1 〒939-8153

電話 076-429-2111

印刷所 いおぎ印刷

**Bulletin of The Agricultural Research Institute, Toyama Prefectural
Agricultural, Forestry and Fisheries Research Center**

Contents

Tetsuya ISHIKURO, Makoto INAHARA, Yoko OGAWA, Hitoshi NAKADA and
Hideo AZUMA: A Study on the Recovery of Farmland Polluted by Low
Concentration Cadmium in Toyama Prefecture
..... 1

Megumi MINAMIYAMA and Mikio NOMURA : Efficiency of Improvement for
Soil Covering Device on V-Furrow No-Till Direct Seeding of Rice
..... 17

Toshiyuki MORIKAWA and Genki MIMURO: Temperature Characterization of
Pathogenesis of Onion Pathogens for Development of Summer Harvesting Culture.
..... 21