

氏 名 (本籍) たて 館 かわ 川 ひろし 洋

学位の種類 農 学 博 士

学位記番号 農 第 173 号

学位授与年月日 昭和 53年 10月 12日

学位授与の要件 学位規則第5条第2項該当

学位論文題目 福島県における水田の重金属，とくに
カドミウム汚染の解析とその対策に関
する研究

論文審査委員 (主 査)

教授 大平 幸次 教授 古坂 澄石

教授 庄子 貞雄

論文内容要旨

福島県内における水稲および水田土壌の重金属汚染には、主として金属の精錬所の排煙による大気型汚染（磐梯東部地域と小名浜地域）、工場排水による水型汚染（会津東部日橋川上流地域）、そして排煙と排水の両者による複合型汚染（磐梯西部地域）の3種がみられた。

本研究は、これら福島県下の汚染水田ならびに水稲の重金属汚染状況を明らかにするとともに、汚染の特徴、水稲の吸収特性、カドミウム吸収抑制方法を検討して、その総合的改良方策を確立したものである。

1 重金属による水田土壌および水稲の汚染

磐梯東部および小名浜地域の大気型汚染、会津東部日橋川上流地域の水型汚染、および磐梯西部地域の複合型汚染を昭和45年から昭和48年までに調査研究を実施し以下の点を明らかにした。なお県内の非汚染地の玄米、稲わらおよび土壌の重金属の平均含量はそれぞれカドミウムで0.10、0.59、0.50 ppm、亜鉛で17.4、53.7、75 ppm、銅で2.1、4.7、5.9 ppm、鉛で0.21、1.6、4.6 ppmであった。

1) 磐梯東部地域の大気型汚染の玄米、稲わらおよび土壌の重金属の平均全含量は、それぞれカドミウムで0.20、5.6、14.4 ppm、亜鉛で23.7、147.4、84.2 ppm、銅で2.3、11.8、55.0 ppm、鉛で0.34、2.9、38.1 ppmであった。（表-1参照）

カドミウムおよび亜鉛では、稲わら中の含量と玄米中の含量との間に正の相関が認められた。しかし玄米と土壌の間には必ずしも相関が認められなかった。

本地域は汚染源の東部に位置するため重金属は主として西風によって運搬されるが、その経路には4つの風道が認められた。これらの風道に沿って汚染程度は汚染源からの距離が大きくなるにつれて減少した。この減少程度は銅と鉛がカドミウムおよび亜鉛に比べて大きかった。なお風の吹き溜り位置での重金属濃度が高かった。（図-1参照）

大気型汚染地域での水稲のカドミウム吸収は、汚染土壌からの経根吸収と降下重金属の葉面吸収の両者によることがわかった。葉面吸収されたカドミウムは経根吸収されたカドミウムよりも玄米への移行が容易であることが推論された。

2) 小名浜地域の大気型汚染の玄米、稲わらおよび土壌の重金属の平均全含量はそれぞれカドミウムで0.25、3.3、1.4 ppm、亜鉛で18.8、59.6、104.1 ppm、銅で3.8、40.1、31.8 ppm、鉛で0.18、1.7、12.4 ppmであった。（表-2参照）

磐梯東部地域に比べて水田作土の重金属の平均全含量が低いにもかかわらず、水稲の吸収量が多いのは、本地域の水田が排水良好で腐植含量が低くCECが小さいためと考えられた。

3) 会津東部日橋川上流地域の水型汚染の玄米、稲わらおよび土壌の重金属の平均全含量はそれぞれカドミウムで0.25、4.2、7.5 ppm、亜鉛で21.2、77.3、44.4 ppm、銅で2.5、12.1、3.4 ppm、鉛で

0.29、2.6、20 ppm であった。水田の位置別ではカドミウム、亜鉛、鉛の玄米中の含量は水口部>中央部>水尻部の傾向をしめし、水田作土の重金属全量も水口部>中央部>水尻部の順であった。(表-3、4 参照)

稲わら中のカドミウム含量と玄米のカドミウム含量との間には、正の相関が認められた。しかし土壌の全カドミウム含量と玄米のカドミウム含量との間には相関が認められなかった。

4) 磐梯西部地域の複合型汚染の玄米、稲わらおよび土壌の重金属の平均全含量はそれぞれカドミウムで0.47、7.6、34 ppm、亜鉛で29.8、343.9、2114 ppm、銅で3.8、13.6、121 ppm、鉛で0.47、4.6、711 ppmであった。(表-5 参照)

本地域でこのように汚染が強く進行した理由は汚染源に近く、大気とかんがい水の両者による複合汚染のためである。本地域ではカドミウムと亜鉛の場合に他の地域とは異なって土壌中のそれぞれの全含量と玄米中の含量との間には正の相関がみられた。これは本地域の土壌型の種類が少ないことと(排水良好な黒色土壌が大部分)、対象地域が狭いため農家の栽培管理においても大きく異なっていないためとみられる。

2 水稲による汚染重金属の吸収特性

汚染型の違いによる水稲の重金属吸収、汚染土壌からの水稲の重金属吸収におよぼす水管理の影響、玄米中のカドミウムと亜鉛の分布状況、水稲の品種と重金属の吸収の関係について研究し以下のような結果が得られた。

1) 汚染大気からの水稲の重金属の吸収をみると、主として葉面吸収された重金属元素の玄米中での含量は亜鉛>銅>鉛>カドミウムの順であった(降水量は亜鉛>鉛>銅>カドミウム)。生育時期別の降下カドミウムによる玄米汚染は生育初期が約30%、中期が約20%、後期が約50%であった。亜鉛も同様の傾向をしめした。(表-6 参照)

葉面への付着および葉面吸収に由来する稲体各部位のカドミウム含量をみると、一般に葉身で高く茎部で低い。その他の重金属元素も同様の傾向をしめした。しかしカドミウムの稲体での分布割合をみると、茎部に72~84%、葉身部に15~26%含まれ、穂部へは僅かに数%しか移行していなかったが玄米中のカドミウムは0.105~0.206 ppm と高まっていた。大気型汚染によって、水稲の硫黄含量が著しく高まっており、降下ばい煙中に硫黄酸化物が含まれていることも明らかとなった。

2) 汚染土壌からの水稲による重金属の吸収をみると、カドミウム含量は根>葉鞘>稈>葉身>穂(玄米)の順であった。葉身部、葉鞘および稈では上位節位より下位節位で含量が高く、また穂部では枝梗>粳ガラ>玄米の順であった。この傾向は亜鉛、銅、鉛含量にもみられた。(表-7 参照)

水稲の器官別の分析によって、汚染経路の判定が可能であることがわかった。

3) 汚染土壌での水稲の重金属吸収におよぼす水管理の影響は、いかなる生育段階においても、節水処理による玄米中のカドミウム含量の高まりは亜鉛、銅、鉛に比べて著しく大きい。その程度は幼穂形成期～出穂期までの節水処理で最大となり、ついで出穂期～出穂後20日の節水処理である。

玄米中のカドミウム濃度は出穂期における土壌の酸化還元電位と密接に関係する。強還元条件下では、カドミウムの水稲による吸収が著しく抑制される。しかし亜鉛の吸収と土壌還元との間にはカドミウムほどには顕著な関係はみられない。

生育時期別の節水処理によって玄米以外の葉身、葉鞘、稈中の重金属含量も影響を受ける。4重金属のなかでは、カドミウムがきわだって節水処理の影響を大きく受けることがわかった。(表-8参照)

4) 各器官の重金属の吸収(分布)割合も重金属元素によってかなり異なっている。カドミウムの吸収割合は稈に最も多く、ついで葉鞘で、両者を合すると全体の約8割となる。亜鉛はカドミウムよりも一層稈に多い。銅は玄米中に約4割みられ、その他の器官にも比較的まんべんなく分布する。鉛は葉鞘で最も多くついで稈に多い。

5) 土壌改良剤、特にりん酸、石灰、フミン酸やゼオライトなどによるカドミウムの吸収抑制には、水管理が前提である。周到的な水管理なしでは吸収抑制が困難である。

6) 玄米中のカドミウムと亜鉛の分布状況を、X線マイクロアナライザーで分析した。両元素はアリロン層(糊粉層)に多く分布していることがわかった。他方精白度を変えて分析した場合でもカドミウム含量の高い玄米では、カドミウムはいわゆる糠層に著しく集積するが、白米としてのデンプン層には僅かしか増加しなかった。(図-2参照)カドミウムの含量は完全粒よりも未熟粒で含量が高かった。汚染土壌で栽培された水稲の玄米中の重金属含量は熟期が早く、茎の太い強稈性品種で高い傾向をしめした。(図-3参照)

3 重金属汚染水田の改良と水稲の吸収抑制法

重金属汚染水田の改良法、大気型および水型汚染水田での玄米のカドミウム汚染の予測法、汚染水田の総合的改良対策(表-9参照)について研究し以下のような結果を得た。

1) 重金属汚染水田における、りん酸、石灰、稲わら、フミン酸、ゼオライトなどによるカドミウムの吸収抑制効果は常時湛水条件下で認められた。しかし中干～間断かんがいを行なう慣行的な栽培条件下ではその効果は期待出来なかった。(表-10参照)

農業土木的改良法として反転深耕と客土を検討したが、安全性や抑制効果の持続性の点から、客土が最も優れているものと判断された。客土量は20cm以上、30cm以下で十分であることが明らかにされた。(表-11、12、図-4参照)

2) 玄米のカドミウム汚染の予測法

降下カドミウムによる玄米の汚染は、生育期間のカドミウム降下量、或いは少くとも、出穂前後1ヶ月程度のカドミウム降下量を測定することによって、予測可能である。(図-5、6参照)

水型汚染水田における玄米のカドミウム含量は出穂後20日の水稲の茎部(稈と葉鞘)のカドミウム含量から予測可能である。茎部のカドミウムがほぼ15ppmを越えなければ玄米のカドミウム含量が1ppmには達しない。茎部のカドミウムが7.5ppm以下では、玄米のカドミウムが0.4ppmを越えないことが予測される。(図-7参照)

3) 本研究によって、筆者はつぎのような基盤整備、客土、土壌改良と栽培管理の4本の柱よりなるカドミウム汚染水田の総合的改良対策を確立することができた。(表-13参照)

1. 基盤整備 (イ) 区画の拡大(15~20a) (14tブルドーザー)
(ロ) 基盤整地と鎮圧 (14tブルドーザー)
2. 客土 (イ) 客土深 25cm (6.5㎡スクレーパー) (但し一作後25cmを確保)
(ロ) 敷均して客土10cm 鎮圧 (14tブルドーザー)
3. 土壌改良 (イ) 土壌改良資材の施用 (ブロードキャスター) (ようりん600Kg/10a、珪酸石灰200Kg/10a)
(ロ) 資材のかくはん (ロータリーティラー)
4. 栽培管理 (イ) 過度の排水管理をしない
(ロ) 有機物の施用
(ハ) 作土の地力増強

この方法により、磐梯町地域(30.0ha)におけるカドミウムによる農用地土壌汚染対策計画の立案と事業の実施に当たっての基礎的資料として貢献したものである。

表1 磐梯東部地域（大気型汚染地域）の玄米、稲わら、土壌の
重金属含有量（全量）（昭和45年）

試料 (点数)	測定値	重金属含有量 (ppm)				Cdに対する比(倍) Zn—Cu—Pb
		Cd	Zn	Cu	Pb	
玄米 (85点)	最高	1.11	31.4	4.1	0.82	120—12—2
	最低	0.00	16.8	0.8	0.12	
	平均	0.20	23.7	2.3	0.34	
稲わら (85点)	最高	23.2	337.8	61.2	6.4	26—2—1
	最低	2.2	52.9	4.3	1.2	
	平均	5.6	147.4	11.8	2.9	
土壌* (85点)	最高	49.2	2958.4	146.3	1551.9	58—4—26
	最低	2.4	221.7	18.9	47.8	
	平均	14.4	842.3	55.0	381.3	

* (注) 土壌は0～15cm層

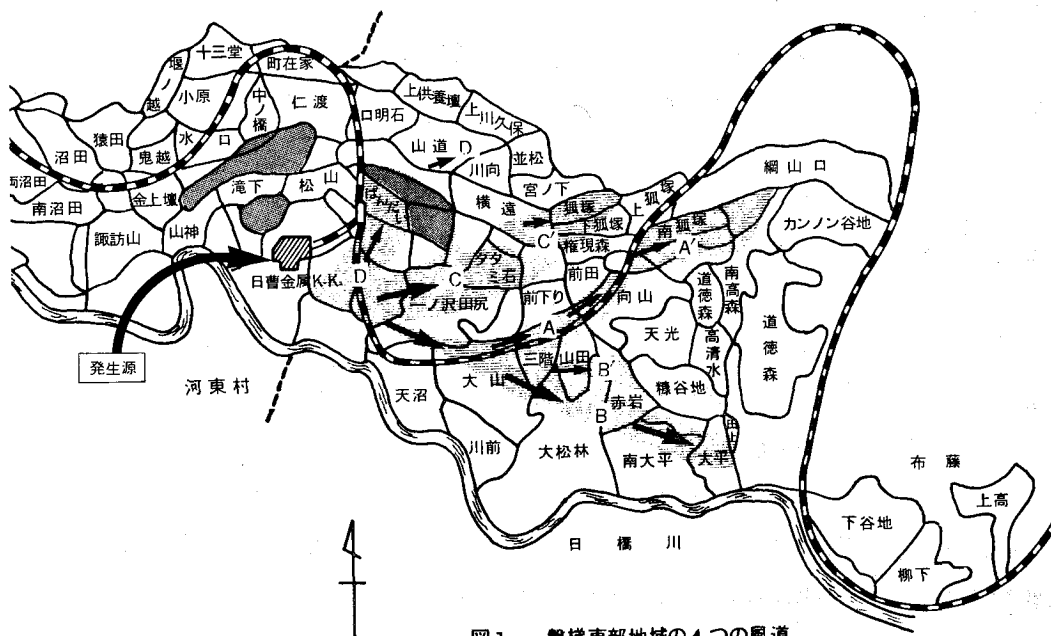


図1 磐梯東部地域の4つの風道

表2 昭和45年のいわき市小名浜地域における玄米、稲わら、
土壌の全重金属含有量

項目 (点数)	測定値	重金属含有量 (ppm)				Cd含量に対する比(倍) Zn—Cu—Pb
		Cd	Zn	Cu	Pb	
玄米 (155点)	最高	0.94	22.3	4.9	0.50	89—18—1
	最低	0.06	14.1	2.1	0.11	
	平均	0.25	18.8	3.8	0.18	
稲わら (155点)	最高	8.5	128.4	133.5	3.2	18—12—1
	最低	1.6	32.8	9.5	1.0	
	平均	3.3	59.6	40.1	1.7	
土壌 (155点)	最高	2.8	186.4	71.7	21.6	74—23—9
	最低	0.6	56.5	15.4	6.7	
	平均	1.4	104.1	31.8	12.4	

表3 日禰川流域の玄米、稲わらおよび土壌の全重金属含有量 (昭和45年)

項目 (点数)	測定値	重金属含有量 (ppm)				Cd含量に対する比例 Zn-Cu-Pb
		Cd	Zn	Cu	Pb	
玄米 (56点)	最高	0.99	24.4	2.8	0.63	84-10-1
	最低	0.01	19.9	1.2	0.21	
	平均	0.25	21.2	2.5	0.29	
稲わら (56点)	最高	15.6	131.6	35.5	4.6	18-3-1
	最低	1.0	50.9	7.9	1.4	
	平均	4.2	77.3	12.1	2.6	
土壌 (56点)	最高	12.4	2137	50	54	59-5-3
	最低	2.7	136	22	13	
	平均	7.5	444	34	20	

表4 水田土壌の位置別並びに層別の全重金属含有量 (昭和45年)

重金属 元素	水田の 位置	水田の土層別重金属含有量 (ppm)		
		0~15cm	15~25cm	25~35cm
Cd	水口	9.3	5.0	2.5
	中央	7.0	4.4	2.3
	水尻	6.6	4.1	2.5
	平均	7.5(100)	4.4(59)	2.4(32)
Zn	水口	561	346	139
	中央	414	285	174
	水尻	357	312	150
	平均	444(100)	313(70)	154(35)
Cu	水口	38	29	24
	中央	33	25	18
	水尻	33	24	18
	平均	34(100)	26(76)	20(59)
Pb	水口	21	15	9
	中央	20	14	9
	水尻	18	13	10
	平均	20(100)	14(70)	9(45)

表5 複合型汚染地域の玄米、稲わらおよび土壌の重金属含有量 (昭和45年)

項目 (点数)	測定値	重金属含有量 (ppm)				Cdに対する比(倍) Zn-Cu-Pb
		Cd	Zn	Cu	Pb	
玄米 (85点)	最高	0.99	31.8	5.3	1.50	63-8-1
	最低	0.04	16.9	0.7	0.10	
	平均	0.47	29.8	3.8	0.47	
稲わら (85点)	最高	8.1	53.68	30.3	7.4	45-2-1
	最低	6.7	55.2	3.9	1.1	
	平均	7.6	34.39	13.6	4.6	
土壌 (85点)	最高	69	4449	196	1485	62-4-21
	最低	4	300	20	28	
	平均	34	2114	121	711	

表6 降下カドミウムと亜鉛による玄米汚染
(昭和48年)

田植	稲の生育ステージと栽培環境			玄米のCd、Zn含量(PPM)	
	幼穂形成期	出穂期	成熟期	Cd含量降下由来	Zn含量降下由来
1				0.064(-)	18.86(-)
2				0.105(0.041)	21.45(2.59)
3				0.119(0.055)	20.86(2.00)
4				0.135(0.071)	32.72(13.86)
5				0.164(0.100)	27.86(9.00)
6				0.206(0.142)	35.83(16.97)

表7 水型汚染土壤に栽培した水稻の各部位における
重金属含量(乾物中)

稲器官	器官の部位	重金属含有量(PPM)				Cdに対する比(倍)
		Cd	Zn	Cu	Pb	Zn - Cu - Pb
穂部	玄米	0.43	25.2	4.3	0.32	59 - 10 - 0.7
	籾ガラ	6.6	84.3	4.6	5.0	13 - 0.7 - 0.8
	枝梗	7.8	76.5	4.9	5.0	10 - 0.6 - 0.6
葉身部	止葉	8.0	39.6	8.6	4.3	5 - 1.1 - 0.5
	次葉	7.9	40.3	7.3	4.0	5 - 0.9 - 0.5
	三葉	8.5	54.6	6.6	5.7	6 - 0.8 - 0.7
	四葉	10.4	125.3	7.0	9.4	12 - 0.7 - 0.9
葉鞘部	上位から-n	8.3	62.4	6.7	4.7	8 - 0.8 - 0.6
	n-1	8.0	90.3	5.6	3.6	11 - 0.7 - 0.5
	n-2	10.6	131.6	5.1	4.8	12 - 0.5 - 0.5
	n-3	14.5	335.7	11.4	7.6	23 - 0.8 - 0.5
稈部	上位から-n	8.2	80.4	4.4	3.7	10 - 0.5 - 0.5
	n-1	8.3	140.2	4.6	4.4	17 - 0.6 - 0.5
	n-2	8.9	210.5	4.8	7.6	24 - 0.5 - 0.9
	n-3	11.1	337.8	7.6	9.4	30 - 0.7 - 0.8
根部	根	90.5	1755	42.6	74.5	19 - 0.5 - 0.8

表8 水管理と玄米の重金属含有量 (ppm) と吸収量 (mg/m²)

区名	含 量 (ppm)				m ² 当り 吸収量 (mg/m ²)		
	玄 米	葉 身	葉 鞘	稈	出穂期まで	出穂期～ 成熟期まで	合 量
Cd							
全 期 間 湛 水	0.74(100)	5.4(100)	10.1(100)	11.0(100)	5.91(100)	2.20(100)	8.11
全 期 間 節 水	3.01(407)	9.3(172)	30.3(300)	53.4(485)	17.36(294)	2.43(110)	19.79
分けつ期～幼穂形成期節水	1.69(228)	7.0(130)	24.7(245)	23.2(211)	18.17(307)	3.75(170)	19.33
幼穂形成期～出穂期 "	2.77(374)	6.5(120)	15.5(153)	41.8(380)	15.81(268)	7.53(342)	23.34
出穂期～出穂後20日 "	2.21(299)	4.8(89)	14.0(139)	22.0(200)	7.66(130)	5.69(259)	13.35
出穂後20日～成熟期 "	0.81(109)	12.0(222)	10.3(102)	14.4(131)	9.46(160)	2.75(125)	12.21
Zn							
全 期 間 湛 水	31.5(100)	45.0(100)	201.9(100)	451.0(100)	184.0(100)	51.8(100)	235.8
全 期 間 節 水	38.5(122)	93.9(208)	290.1(144)	923.5(205)	202.4(110)	70.0(135)	272.4
分けつ期～幼穂形成期節水	38.9(124)	102.9(229)	395.7(196)	513.5(114)	289.1(157)	78.2(151)	367.3
幼穂形成期～出穂期 "	40.1(128)	57.9(129)	150.7(75)	668.3(148)	195.6(106)	134.1(259)	329.7
出穂期～出穂後20日 "	31.0(99)	45.0(100)	143.5(71)	495.1(110)	171.3(93)	48.4(93)	219.7
出穂後20日～成熟期 "	32.5(108)	39.9(89)	198.9(79)	395.7(88)	187.8(102)	64.1(124)	251.9
Cu							
全 期 間 湛 水	3.8(100)	8.5(100)	7.9(100)	7.7(100)	9.5(100)	0.1(100)	9.6
全 期 間 節 水	5.2(136)	9.4(111)	10.2(129)	13.7(178)	8.8(93)	0.1(100)	8.9
分けつ期～幼穂形成期節水	6.4(169)	11.1(131)	13.4(170)	13.7(178)	10.0(105)	6.5(6500)	16.5
幼穂形成期～出穂期 "	4.9(129)	10.7(126)	8.7(110)	12.2(158)	10.2(107)	3.3(3300)	13.5
出穂期～出穂後20日 "	4.1(108)	9.0(106)	7.5(95)	11.8(153)	11.7(123)	(-1.0)(-)	10.7
出穂後20日～成熟期 "	4.8(127)	9.4(111)	9.0(114)	8.8(114)	10.3(108)	2.5(2500)	12.8
Pb							
全 期 間 湛 水	0.48(100)	22.7(100)	16.9(100)	14.8(100)	12.9(100)	1.8(100)	14.7
全 期 間 節 水	0.46(96)	29.9(132)	15.9(94)	18.0(122)	8.9(69)	1.8(100)	10.7
分けつ期～幼穂形成期節水	0.47(98)	25.1(111)	10.6(63)	13.8(93)	9.4(73)	4.9(272)	14.3
幼穂形成期～出穂期 "	0.70(147)	14.6(64)	21.2(125)	14.8(100)	10.0(78)	5.6(311)	15.6
出穂期～出穂後20日 "	0.51(107)	11.6(51)	13.8(82)	15.9(107)	14.8(115)	(-3.3)(-)	11.5
出穂後20日～成熟期 "	0.55(98)	18.0(79)	20.1(119)	16.9(114)	10.9(84)	6.5(361)	17.4

(注) ()は全期間湛水区を100とした指数

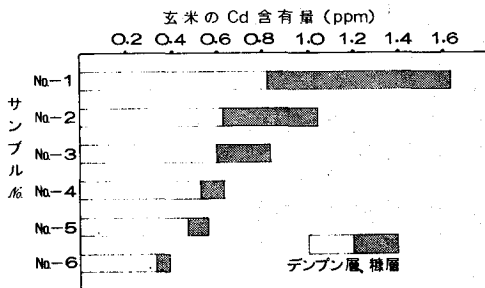


図2 穂層および白米デンプン層中のカドミウム含有量

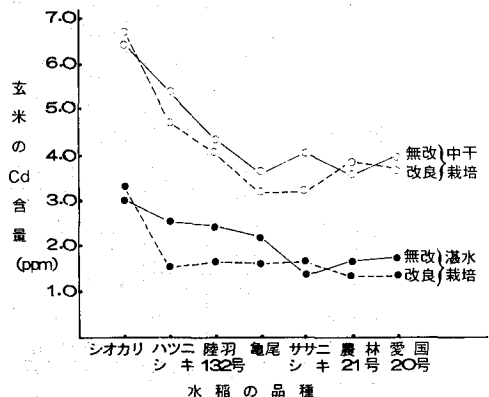


図3 品種別のカドミウム含有量 (ppm)

表9 重金属汚染水田土壌の土壌改良方策

- I 化学的方法
 - (1) 不溶化
 - (イ) 土壌の還元化促進 (Eh の低下)
 - (ロ) 土壌pHの上昇
 - (ハ) リン酸塩などの生成促進
 - (2) 吸着化
 - (イ) 粘土鉱物質材の利用
 - (ロ) 土壌改良資材の利用
 - (3) 溶脱
 - (イ) 土壌洗浄による除去
- II 生物的方法
 - (イ) 重金属特異吸収植物の利用
- III 農業土木的方法
 - (イ) 反転深耕 (ロ) 客 土
 - (ハ) 排 土 (ニ) 排土客土

表10 リン酸、石灰、稲わら処理区における収量と玄米重金属含量 (ppm)

区 No	区 名	玄米重指数		Cd		Zn		Cu		Pb	
		湛水	中干	湛水	中干	湛水	中干	湛水	中干	湛水	中干
1	無改良区	100	100	0.40	3.11	31.3	33.5	4.3	4.7	0.32	0.33
2	りん酸少量区	99	100	0.44	2.97	31.5	34.3	4.3	4.5	0.34	0.47
3	“ 中量区	113	110	0.22	3.02	29.7	38.1	4.4	4.6	0.38	0.47
4	“ 多量区	113	112	0.19	3.62	29.7	32.9	4.2	4.5	0.37	0.36
5	pH 7 矯正区	100	107	0.15	4.02	31.7	35.2	4.0	4.4	0.44	0.33
6	pH 8 “	96	103	0.22	3.67	25.7	34.4	3.0	4.4	0.49	0.58
7	稲わら少量区	108	104	0.21	3.60	29.2	31.8	3.4	3.9	0.40	0.38
8	“ 多量区	102	109	0.15	3.26	29.5	33.9	3.4	4.2	0.36	0.41

(注) 玄米重指数は湛水区 77.3kg/a、中干区 81.0kg/aをそれぞれ100にしたときの指数である。

玄米の重金属含量はppm

表11 玄米の重金属含量におよぼす客土量の影響
(狐塚試験地) (昭和48年)

区 名	基盤切盛の有無	土壌のCd量(ppm)		玄米の重金属含量 (ppm)				収量(kg/a)	
		作土	客土下の土壌	Cd	Zn	Cu	Pb	玄米重	ワラ重
客土 25 cm	無	0.21	36.8	0.080	23.3	3.4	0.63	55.4	59.6
	盛土	0.27	32.2	0.073	23.8	3.4	0.54	63.5	72.4
	切土	0.20	1.9	0.090	21.8	4.6	0.50	57.6	63.7
客土 30 cm	無	0.20	37.5	0.075	21.4	4.0	0.46	42.6	63.4
	盛土	0.19	12.9	0.075	24.2	4.1	0.50	55.8	67.2
	切土	0.21	5.7	0.083	21.4	4.1	0.46	43.7	65.8
客土 40 cm	無	0.21	39.3	0.080	23.2	4.2	0.48	55.3	68.4
	盛土	0.19	25.0	0.070	23.6	4.0	0.52	59.6	70.6
	切土	0.20	4.1	0.091	23.1	3.6	0.54	52.8	64.0
無客土	無	37.6	28.5	1.121	27.3	4.9	0.78	55.0	69.4

表12 客土厚と水管理が玄米重金属含量および吸収量に及ぼす影響 (昭和47年)

区 No	区 名	収量(%)		玄米の重金属含量(ppm)				吸 収 総 量 (mg/m ²)			
		玄米重	ワラ重	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb
1	無客土湛水	100	100	0.46	27.4	3.8	0.40	8.1	235.8	9.7	14.7
2	" 中干	100	100	3.71	34.6	5.0	0.40	28.3	445.2	13.0	12.4
3	客土5cm湛水	110	108	0.12	21.5	2.8	0.43	8.1	158.7	9.2	15.6
4	" 中干	109	90	2.22	31.6	4.2	0.45	11.5	179.8	8.7	11.9
5	客土10cm湛水	102	105	0.21	23.1	2.9	0.40	4.5	104.9	8.7	12.8
6	" 中干	130	102	1.87	31.6	4.6	0.37	13.1	191.6	11.8	13.7
7	客土20cm湛水	94	97	0.06	22.6	2.6	0.41	3.6	78.4	8.1	15.4
8	" 中干	132	106	1.10	30.0	4.3	0.39	9.2	217.9	11.6	14.2
9	客土30cm湛水	84	88	0.05	20.8	2.4	0.41	3.3	51.5	7.1	13.8
10	" 中干	133	111	0.62	28.6	4.2	0.46	7.9	179.7	11.4	12.3

注 1. 中干=中干し間断かんがい栽培
 2. 収量は無客土常時湛水区(玄米重84.0kg/a、ワラ重81.1kg/a)
 無客土中干区(玄米重61.5kg/a、ワラ重72.0kg/a)をそれぞれ100として表わした。

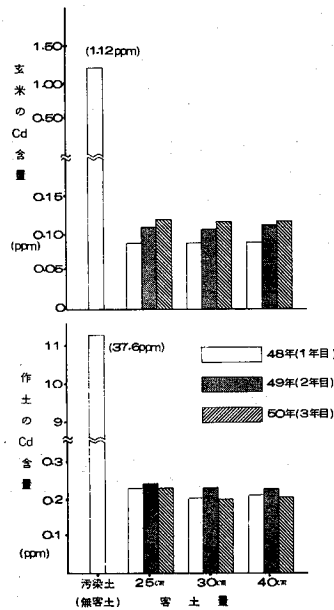


図4 客土の効果と持続性 (狐塚試験地) (昭和48~50年)

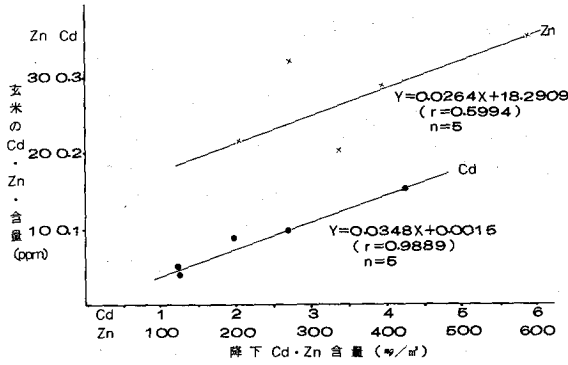


図5 大気型汚染地での栽培期間中の降下カドミウムと亜鉛量が玄米中のそれらの含量におよぼす影響 (昭和48年度)

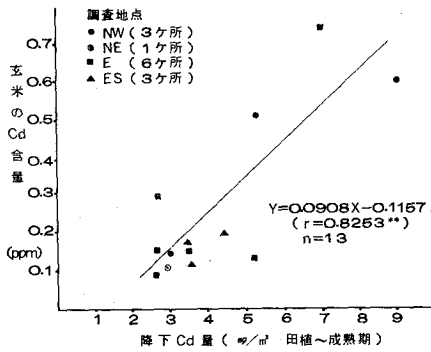


図6 汚染源からの方位別・距離別に選定した地点における降下カドミウム量と玄米カドミウム含量との関係

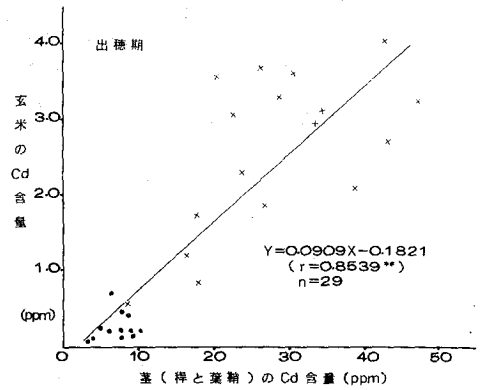
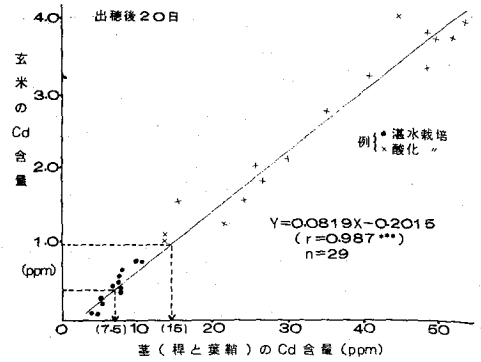


図7

出穂期および出穂後20日の茎部(葉鞘と稈)と玄米のカドミウム含量との関係

表13 カドミウム汚染田の総合的改良方策

1. 基盤整備

- (イ) 区画の拡大 (15~20 a)
(14 tブルドーザー)
- (ロ) 基盤整地と鎮圧
(14 tブルドーザー)

2. 客土

- (イ) 客土深 25 cm
(但し一作後25 cmを確保)
(6.5 m²スクレーパー)
- (ロ) 敷均して客土10 cm鎮圧
(14 tブルドーザー)

3. 土壌改良

- (イ) 土壌改良資材の施用
(よりりん 600 kg/10 a、珪酸石灰 200 kg/10 a)
(ブロードキャスター)
- (ロ) 資材のかくはん
(ロータリーテイラー)

4. 栽培管理

- (イ) 過度の排水管理をしない
- (ロ) 有機物の施用
- (ハ) 作土の地力増強

審査結果の要旨

本研究は、福島県における重金属とくにカドミウムによる水田汚染の実態を調査し原因別に汚染の特徴を解析するとともに、汚染重金属の水稲による吸収特性を明らかにし、さらに水管理を中心とするカドミウムの吸収抑制法を検討して、基盤整備と客土を基本とした汚染水田の総合的改良方法を確立したものである。

昭和45年から実施した調査研究の結果、県内水田の重金属汚染は、主として金属製錬所排煙による大気型汚染（磐梯東部地域と小名浜地域）、工場排水による水型汚染（会津東部日橋川上地域）および両者による複合型汚染（磐梯西部地域）の3種に分けられた。各地域における水田土壌、玄米、稲わら中のカドミウム、亜鉛、銅、鉛の含量から、大気汚染での風道と距離との関係、水型汚染水田土壌中での重金属の分布、複合型での高濃度汚染の状況など原因別による汚染の特徴を解析した。カドミウムと亜鉛については、稲わら中の含量と玄米中含量とに正の相関が認められるが、玄米と土壌との間には必ずしも相関がみられないことが示された。

汚染大気による葉面への吸着と吸収に由来する稲穂各部位のカドミウム含量をみると、上位葉身ほど高く茎部で低い。その他の重金属も同様の傾向を示した。逆に汚染土壌からの吸収では、根に最も高く葉では下部節位のものが高い。器官別の分析により汚染経路の判定が可能であることが判った。汚染水田土壌でのカドミウム吸収におよぼす水管理の影響は、どの生育段階でも節水処理により玄米中の含量を高めるが、幼穂形成期から出穂期にかけての節水処理で最大となる。玄米中のカドミウム濃度は土壌の酸化還元電位と密接に関係し、強還元条件下で吸収は強く抑制される。しかし亜鉛の吸収と土壌還元との間にはそれほど顕著な関係はみられない。X線マイクロアナライザーによる汚染玄米の組織学的分析で、糊粉層にカドミウムが多く分布することが判明した。これらの結果から、汚染水田における重金属吸収抑制方法とくに客土による方法を種々検討し、基盤整備、客土、土壌改良と栽培管理とによる総合的改良対策を確立した。

以上のように本論文は、重金属による水田汚染の実態と水稲によるその吸収特性を明らかにし改良方法を樹立したものであって、この分野での研究に対し先導的役割を果たすとともに、磐梯地域での農用地土壌改良対策事業実施のための基礎的資料として貢献したものであり、著者は農学博士の学位を授与される資格を有するものと判定する。