

三重県の農耕地土壌に関する研究

(第4報) 土壌の重金属類等の含量について

米野泰滋*・安田典夫*・戸田敏一**・戸波多美子*・広瀬和久*・児玉幸弘*・石川裕一*

Studies on Farming Soil in Mie Prefecture

4. Contents of Heavy Metals in Soil

Taizi YONENO, Norio YASUDA, Koichi TODA, Tamiko TONAMI,
Kazuhisa HIROSE, Yukihiro KODAMA and Hirokazu ISHIKAWA

緒言

農耕地土壌の重金属類の含量については、主として土壌汚染にかかわる問題として、我が国では、古くは足尾銅山からの銅による汚染など、特定の地域における調査が行われてきた。しかし最近、カドミウムによる土壌汚染が明らかにされたことが契機となり、重金属類による土壌汚染は全国的な問題として、その対策が要請されるようになった。

このような背景から、1970年には、「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律」が制定され、全国的な規模で、農用地の重金属類の含量を把握し、汚染の実態を明らかにするための、重金属類概況調査が実施されることになった。

三重県の農耕地土壌の重金属類の含量についても、従来、調査研究の行われたものは極めて少なく、僅かに蛇紋岩地帯におけるニッケル⁸⁾や、果樹園におけるマンガン、銅、亜鉛等^{11,19,20)}についての2~3の調査成績があるのみであった。

1971年から1978年にわたって実施した重金属類概況調査は、県内の全農耕地を対象として、系統的に調査を行ったもので、これによって、はじめて県下農耕地の重金属類の実態を、明らかにすることが出来たといえる。

また、この調査を端緒として、鈴鹿地域の工場廃水による亜鉛、ニッケル等、桑名・西員弁地域のカドミウム等、多気地域の水銀等についての、土壌汚染防止対策調査^{4,7,9)}や、名張川、櫛田川水系の水銀等の実態調査⁷⁾が、あいついで実施されることとなった。

重金属類概況調査の結果は、毎年度「三重県・環境白書⁷⁾」の一部として概要を取りまとめたが、この調査は、1979年から新たに開始された「土壌環境基礎調

査」の一部に包含されて継続されることとなり、調査地点等に大巾な変更もあったので、ここでは1971年から8カ年にわたって実施した、重金属類概況調査として得られた結果について取りまとめ、報告することとする。

調査方法

重金属類概況調査は、1971年から1978年にわたって実施し、調査方法は「土壌保全対策要綱¹²⁾」に定める方法によった。すなわち、調査地点は、水田はおおむね1,000haに1点、畑地は2,000haに1点の割合で選定することとし、水田70点、普通畑6点、樹園地4点、計80地点を設定した。

試料採取は、1971年から1973年までの3カ年は80点の全地点、1974年から1978年までは、3等分して、3年に1回の調査を行った。

試料は圃場の中央部で、土壌は地表下0~15cmを採土し、農作物は土壌の採取位置上の立毛から、水田にあっては玄米を、畑地にあっては採取時期に作付されているものの可食部を採取した。また、かんがい水は対象用水の取水地点から採水した。

分析方法は「土壌保全対策事業における重金属類の分析方法について¹³⁾」により、土壌中のカドミウム、亜鉛、銅は、0.1規定塩酸抽出法、鉛は1規定(pH4.5)醋酸抽出法、砒素は1972年から1974年までは、過塩素酸分解法、1975年からは1規定塩酸抽出法で行った。

農作物は湿式分解後、カドミウム、鉛はAPDC-MIBK抽出法、砒素はジェチルジチオカルバミン酸銀ピリジン法によった。

かんがい水については、JISの水質分析法によった。

調査結果および考察

(1) 土壌の種類と重金属類含量

1. 土壌中の重金属類含量

土壌中の重金属類含量の累年平均値を第1表に、土壌統群別の重金属類含量を第2表に示した。

第1表 土壌中の重金属類含量 (ppm)

地目	調査年	地点数	カドミウム		亜鉛		銅		鉛		砒素		pH		
			平均	最高	平均	最高	平均	最高	平均	最高	平均	最高	H ₂ O	Kcl	
水田	1971	70	0.4	1.8	10.4	54.3	5.6	22.1	-	-	-	-	5.9	5.0	
	1972	70	0.3	2.6	7.8	31.3	5.2	18.4	7.7	85.5	8.1	42.0	5.7	4.9	
	1973	70	0.3	3.3	8.8	33.8	5.6	23.3	6.7	102.7	7.1	48.0	5.8	4.9	
	1974	24	0.5	5.0	11.2	45.4	5.9	14.9	12.1	89.8	8.6	57.4	5.8	5.0	
	1975	23	0.4	2.3	12.9	66.0	8.7	48.5	6.9	17.8	1.6	6.4	5.8	5.1	
	1976	23	0.4	0.8	9.0	31.4	5.6	10.7	5.0	9.0	1.5	3.5	5.7	4.9	
	1977	24	0.6	5.0	12.9	63.3	6.5	13.7	10.7	65.5	1.4	4.6	5.8	5.0	
	1978	23	0.4	2.7	11.3	55.0	8.6	62.5	7.2	19.0	1.5	4.6	5.9	5.0	
	累年			0.4	5.0	9.9	66.0	5.7	62.5	7.8	102.7	1.6	6.4	5.9	5.0
	全国			0.4	15.0	14.6	710.0	9.0	570.4	6.3	2201.4	1.8	47.2	-	-
普通畑	1971	6	0.3	0.4	8.1	10.5	1.0	1.9	-	-	-	-	5.9	5.2	
	1972	6	0.2	0.3	7.8	11.3	1.2	2.9	4.2	7.5	11.3	16.7	6.2	5.6	
	1973	6	0.2	0.3	9.8	18.3	1.4	3.2	6.2	11.3	9.0	13.8	6.0	5.4	
	1974	2	0.2	0.3	7.0	11.0	0.6	0.7	1.4	2.2	5.3	8.6	5.5	4.4	
	1975	2	0.4	0.4	12.1	17.4	0.3	0.3	4.4	6.0	2.1	3.0	4.6	4.1	
	1976	2	0.3	0.3	6.0	6.5	2.1	2.7	2.5	4.3	0.9	1.1	5.9	4.8	
	1977	2	0.2	0.3	6.7	8.8	0.9	0.9	2.4	2.4	0.7	1.1	5.2	4.3	
	1978	2	0.5	0.5	28.4	36.8	0.3	0.5	5.2	7.1	2.0	2.3	5.3	4.8	
	累年			0.3	0.5	8.6	36.8	1.1	3.2	4.3	11.3	1.5	3.0	5.9	5.1
	全国			0.3	7.5	10.6	317.3	2.6	75.2	2.9	332.5	1.2	14.2	-	-
樹園地	1971	4	0.4	0.7	16.9	25.3	5.3	16.0	-	-	-	-	6.0	6.4	
	1972	4	0.3	0.5	15.2	24.5	9.7	22.7	4.1	8.2	13.3	20.0	5.3	5.0	
	1973	4	0.4	0.7	19.5	31.9	6.3	21.4	6.1	9.5	11.0	15.7	6.2	5.8	
	1974	1	0.2	0.2	33.2	33.2	24.8	24.8	0.8	0.8	8.4	8.4	4.9	4.1	
	1975	2	0.4	0.4	12.6	15.3	1.1	1.3	10.9	18.6	3.0	3.6	5.2	4.6	
	1976	1	0.6	0.6	35.4	35.4	25.2	25.2	2.3	2.3	2.8	2.8	5.3	4.4	
	1977	1	0.3	0.3	35.6	35.6	33.5	33.5	1.7	1.7	0.3	0.3	4.9	4.3	
	1978	2	0.3	0.3	15.4	17.9	1.0	1.0	10.2	17.2	2.9	3.4	4.8	4.4	
	累年			0.4	0.7	19.3	35.6	9.1	33.5	5.9	18.6	2.9	3.6	5.7	5.3
	全国			0.4	7.2	24.5	261.4	24.2	376.4	16.4	490.3	7.2	138.2	-	-

(注) 土壌中の砒素の分析については1972～1974年度は過塩素酸分解法、1975～1978年度は1規定塩酸抽出法による。全国は、土壌保全対策資料第58号による。砒素の累年、全国は1規定塩酸抽出法による分析値を示す。

第2表 土壌統群別の土壌中重金属類含量 (ppm)

地目	土壌統群名	地点数	カドミウム			亜鉛			銅			鉛			砒素	pH (H ₂ O)	玄米中カドミウム		
			平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数			平均	標準偏差	変動係数
水田	表層腐植質多湿黒ボク	3	0.34	0.09	26	7.9	4.1	52	1.6	1.0	62	5.1	1.2	23	9.9	5.7	0.09	0.06	67
	細粒黄色土り	2	0.21	0.11	52	8.8	1.5	17	5.5	0.6	12	6.6	2.5	37	3.9	5.4	0.02	0.02	100
	礫質黄色土り	3	2.47	1.72	70	27.7	19.3	70	4.4	2.9	65	55.7	35.0	63	34.0	6.7	0.18	0.16	89
	細粒灰色低地土系	10	0.26	0.08	30	9.5	6.8	72	7.0	3.4	49	6.1	3.5	58	5.0	5.5	0.11	0.09	82

地目	土壌統群名	地点数	カドミウム			亜鉛			銅			鉛			砒素	pH (H ₂ O)	ミカドミウム		
			平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数			平均	標準偏差	変動係数
水田	中粗粒灰色低地土、灰色低地土系	15	0.24	0.10	42	8.2	4.8	59	5.7	2.4	42	5.7	3.3	58	3.9	5.6	0.07	0.06	86
	礫質灰色低地土系	7	0.22	0.09	41	5.3	1.5	29	5.6	2.7	48	4.6	2.4	51	5.6	5.9	0.10	0.11	110
	細粒灰色低地土系	6	0.42	0.31	74	10.3	5.1	50	6.6	3.0	46	7.5	5.4	72	8.0	5.9	0.11	0.10	91
	中粗粒灰色低地土、灰褐色系	2	0.14	0.05	36	6.4	3.7	57	5.1	0.9	17	6.3	2.4	39	3.1	5.4	0.06	0.04	67
	灰下層黒地土	6	0.36	0.17	47	9.1	3.5	39	2.1	1.4	69	6.4	3.2	50	11.4	6.0	0.06	0.06	100
	灰下層低地土質	1	0.43	0.05	12	17.9	6.6	37	15.8	2.4	15	11.2	0.5	45	5.9	5.4	0.21	0.14	67
	細粒強グライ土	7	0.45	0.65	144	12.7	15.8	124	11.2	13.7	122	4.5	1.9	42	7.6	5.8	0.17	0.12	71
	中粗粒強グライ土	5	0.24	0.08	33	6.9	2.4	34	5.9	1.5	26	3.1	0.8	27	7.7	5.9	0.17	0.15	88
	中粗粒グライ土	3	0.26	0.07	27	9.1	4.3	48	5.4	1.9	34	4.4	2.1	47	5.6	6.0	0.08	0.03	38
普通畑地	砂丘未熟土	1	0.18			5.7			1.1			1.4			4.6	6.3			
	表層多腐植質土	2	0.32			10.2			0.5			3.7			11.9	5.7			
	表層腐植質土	2	0.38			14.9			0.7			6.0			16.6	4.8			
	中粗粒褐色土	1	0.63			26.9			10.4			3.8			10.5	6.2			
	細粒黄色土	1	0.23			7.0			2.5			6.6			12.8	5.7			
	細粒黄色土斑紋あり	1	0.16			6.2			1.6			2.3			2.5	6.2			
	礫質黄色土	2	0.25			20.1			12.6			7.5			9.7	5.8			

(注) 砒素の分析値は過塩素酸分解法によるものを示す。

県下に分布する農耕地土壌は、第1報で報告した²¹⁾ように、12土壌群、33土壌統群に区分される。この中、重金属類概況調査の設定地点は、水田土壌で4土壌群、13土壌統群、畑土壌は4土壌群、6土壌統群である。

水田土壌についてみると、重金属類含量は、カドミウム0.4ppm、亜鉛9.9ppm、銅5.7ppm、鉛7.8ppm、砒素1.6ppmである。これらを全国平均値¹⁴⁾と対比すると、カドミウム、鉛、砒素は同程度であり、亜鉛、銅はやや低かった。

土壌統群別にみると、カドミウムをはじめ亜鉛、鉛、砒素とも、礫質黄色土・斑紋あり、が異常に高い。これは土壌汚染防止対策調査を実施中の、西員弁地域の調査地点が含まれていることによるもので、その他の地点では、この土壌統群が特に高いという傾向は認められなかった。

その他の土壌統群についても、調査地点数が少なかったり、あるいは高濃度の地点を含む場合があるが、平均値についてみれば、カドミウムは細粒灰色低地土・灰褐色系、灰色低地土・下層黒ボク、灰色低地土・下層有機質、

細粒強グライ土等で、やや高い傾向がうかがわれた。また、土性との関係では、同一土壌統群でも、灰色低地土灰褐色系、強グライ土等で、細粒質のものが、やや高い傾向がみられた。

亜鉛、銅等についても、余り明らかな差は認められないが、ただ多湿黒ボク土の銅含量は、低い傾向を示した。土壌中の重金属類の含量は、地質、母材によっても当然左右され、これらについては多くの報告がある。^{3,15)}

渋谷は我が国の水田土壌中のカドミウム濃度について、比較的排水のよい灰褐色土壌群系がやや低い傾向を示し、黒色土壌群系は高く、土壌群により多少の濃度変化がみられる傾向にあると述べている。また只木らは、カドミウムは多湿黒ボク土、灰色低地土、およびグライ土の細粒質で高い傾向がうかがわれ、銅濃度は多湿黒ボク土で明らかに低いとしている。^{15,17)}

前野らも、銅は火山灰系の再積性黒ボク土壌と再積性黒ボクグライ土壌が、他の土壌群に比して明らかに低いとし、さらに長谷川らも、銅は非火山灰土と火山灰土を

比較すると、非火山灰土で明らかに高く、また非火山灰土の土性別重金属濃度を比較して、カドミウム、亜鉛は粘質のものが高いと述べている。

本調査においても、これらの報告とほぼ同様の結果が得られた。

畑土壌についてみると、普通畑でカドミウム0.3ppm、亜鉛8.6ppm、銅1.1ppm、鉛4.3ppm、砒素1.5ppmであり、樹園地ではカドミウム0.4ppm、亜鉛19.3ppm、銅9.1ppm、鉛5.9ppm、砒素2.9ppmである。全国平均値と対比すると普通畑では、カドミウム、砒素は同程度、亜鉛、銅はやや低く、鉛はやや高かった。樹園地ではカドミウムは同程度、亜鉛、銅、鉛、砒素は、いずれも低かった。

土壌統群別には、中粗粒褐色森林土のカドミウム、亜鉛、銅、礫質黄色土の亜鉛、銅がやや高い傾向があるが地点数が少なく明らかではなかった。ただ水田土壌と同様、黒ボク土の銅含量は、畑土壌においても低い傾向が認められた。

次に、水田、普通畑、樹園地の地目別の重金属類含量を比較すると、カドミウムについては、平均値は水田と樹園地は同程度であるが、最高値は水田がやや高い傾向がみられた。亜鉛、銅、砒素は樹園地が最も高く、ついで水田で、普通畑土壌の重金属類含量は、いずれも比較的lowかった。また鉛は水田が最も高かった。

これらのことは、全国平均値についても、また2~3の報告^{1,18)}についても、ほぼ同様の傾向が認められ、水田ではかんがい水、樹園地では農薬の影響も大きいものと考えられる。

なお、各重金属類含量の最高値は、いずれも水田土壌で認められたが、現在、土壤汚染防止法で定められている、銅125ppm、砒素15ppmの規制値をこえる地点は認められなかった。

(2) 地域別の水田土壌中重金属類含量

主要河川流域、地域別の水田土壌中の重金属類含量を第3表に示した。

第3表 地域別の水田土壌中重金属類含量 (ppm)

地域別	地点数	カドミウム			亜鉛			銅			鉛			砒素	pH (H ₂ O)
		平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数	平均	標準偏差	変動係数	平均	平均
木曾川下流域	4	0.21	0.09	43	6.4	1.9	29	5.8	1.4	25	3.0	1.0	33	9.3	5.8
員弁川流域	7	1.58	1.40	89	24.6	17.3	70	9.8	14.2	145	27.7	32.4	117	24.1	6.3
朝明川流域	10	0.27	0.09	33	7.4	2.8	37	6.0	3.9	65	7.1	3.7	52	4.7	5.7
鈴鹿川流域	10	0.26	0.12	46	7.3	5.1	70	4.8	3.0	63	3.8	1.4	36	6.7	5.7
安濃川流域	6	0.26	0.07	27	7.5	3.5	47	5.1	2.2	43	4.9	1.7	35	5.2	5.4
雲出川流域	6	0.24	0.12	50	6.7	3.1	47	4.6	0.9	20	5.0	2.6	53	4.9	5.6
櫛田川流域	9	0.28	0.08	29	7.8	3.1	40	6.1	3.1	51	4.6	2.0	43	7.9	6.0
宮川流域	3	0.22	0.13	59	10.6	12.4	117	6.4	4.1	65	5.3	2.1	39	8.8	5.8
木津川流域	6	0.20	0.07	35	8.4	3.3	39	5.2	1.4	28	5.4	1.3	23	2.7	5.6
名張川流域	2	0.16	0.05	31	11.8	5.2	44	4.5	1.2	27	6.8	1.7	26	3.0	5.5
南勢地域	1	0.23	—	—	5.9	—	—	5.3	—	—	6.2	—	—	3.5	5.6
志摩地域	3	0.25	0.08	32	6.4	3.7	58	7.8	4.1	52	5.3	2.1	40	5.2	5.9
紀北地域	1	0.23	—	—	15.3	—	—	6.6	—	—	15.7	—	—	2.7	5.8
紀南地域	2	0.34	0.11	32	13.1	7.6	58	10.9	6.3	58	8.7	3.4	39	6.1	5.4

(注) 砒素の分析値は過塩素酸分解法によるものを示す。

これによると、カドミウムをはじめ亜鉛、鉛、砒素とも、員弁川流域が明らかに高いが、これは西員弁地域の調査地点が、この地域に含まれることによるものであって、その他の流域でも、地点数が少なかったり、高濃度の地点を含み、変動係数の大きい場合もあるが、特に異常なものは認められなかった。

(3) 土壌中の重金属類含量の経年変化

土壌中の重金属類含量について、年次別の全地点の平均値は第1表に示したとおりであるが、1974年以降は調査地点を1/3づつとしたので、同一地点のみについて平均値を求め第4表に示した。

第4表 土壌中の重金属類含量の経年変化 (ppm)

地目	年次	カドミウム			亜鉛			銅			鉛		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
水田	1971	0.4	0.4	0.4	10.3	13.4	9.2	5.9	7.0	4.9	-	-	-
	1972	0.4	0.3	0.2	7.2	9.0	7.3	5.2	6.2	4.3	11.5	6.4	5.0
	1973	0.4	0.3	0.3	8.7	10.4	7.1	5.3	7.2	3.9	11.3	5.0	3.5
	1974	0.5	-	-	11.2	-	-	5.9	-	-	12.1	-	-
	1975	-	0.4	-	-	12.9	-	-	8.7	-	-	6.9	-
	1976	-	-	0.4	-	-	9.0	-	-	5.6	-	-	5.0
	1977	0.6	-	-	12.9	-	-	6.5	-	-	10.7	-	-
	1978	-	0.4	-	-	11.3	-	-	8.6	-	-	7.2	-
普通畑	1971	0.3	0.3	0.2	9.9	9.3	5.3	1.4	0.4	1.3	-	-	-
	1972	0.2	0.3	0.2	8.4	8.1	6.8	1.9	0.2	1.6	2.9	5.9	3.9
	1973	0.2	0.3	0.2	10.0	12.1	7.4	1.5	0.2	2.4	4.2	8.8	5.7
	1974	0.2	-	-	7.0	-	-	0.6	-	-	1.4	-	-
	1975	-	0.4	-	-	12.1	-	-	0.3	-	-	4.4	-
	1976	-	-	0.3	-	-	6.0	-	-	2.1	-	-	2.5
	1977	0.2	-	-	6.7	-	-	0.9	-	-	2.4	-	-
	1978	-	0.5	-	-	28.4	-	-	0.3	-	-	5.2	-
樹園地	1971	0.3	0.4	0.7	25.3	13.4	15.8	16.0	2.4	0.7	-	-	-
	1972	0.2	0.2	0.5	20.6	9.8	24.5	22.7	1.2	13.8	1.5	5.9	3.0
	1973	0.3	0.4	0.7	22.3	11.8	31.9	21.4	1.0	1.8	2.3	8.0	6.2
	1974	0.2	-	-	33.2	-	-	24.8	-	-	0.8	-	-
	1975	-	0.4	-	-	12.6	-	-	1.1	-	-	10.9	-
	1976	-	-	0.6	-	-	35.4	-	-	25.2	-	-	2.3
	1977	0.3	-	-	35.6	-	-	33.5	-	-	1.7	-	-
	1978	-	0.3	-	-	15.4	-	-	1.0	-	-	10.2	-

水田土壌では、1971年から1978年まで、余り変化は認められなかった。普通畑では、亜鉛が1978年に平均値、最高値とも増加の傾向を示し、また樹園地でも、亜鉛、銅、鉛の最高値が増加の傾向にあるようであるが、地点数が少なく必ずしも明らかではなかった。

2. 農作物中の重金属類含量

(1) 水稲玄米中の重金属類含量

農作物可食部中の重金属類含量の累年平均値を第5表に示した。また、土壌統群別の玄米中カドミウム含量を第2表に示した。

第5表 農作物中の重金属類含量 (ppm)

農作物名	調査年度	地点数	カドミウム		亜鉛		銅		鉛		砒素	
			平均	最高	平均	最高	平均	最高	平均	最高		
玄米	1971	70	0.11	0.39	20.39	26.70	2.63	5.17	-	-	-	-
	1972	70	0.11	0.39	21.55	29.50	2.86	8.50	0.16	0.43	0.22	0.93
	1973	70	0.10	0.53	-	-	-	-	0.07	0.40	0.19	0.47
	1974	24	0.11	0.53	-	-	-	-	0.11	0.16	0.14	0.31
	1975	23	0.10	0.38	-	-	-	-	0.05	0.15	0.13	0.33
	1976	23	0.08	0.26	-	-	-	-	0.08	0.25	0.21	0.38
	1977	24	0.09	0.30	-	-	-	-	0.05	0.14	0.11	0.26
	1978	21	0.17	0.39	-	-	-	-	0.04	0.21	0.16	0.25
	累年			0.11	0.53					0.10	0.43	0.18
全国			0.10	3.25					0.20	2.13	0.15	2.20

農作物名	調査年	地点数	カドミウム		亜鉛		銅		鉛		砒素	
			平均	最高	平均	最高	平均	最高	平均	最高	平均	最高
大根	1971	6	0.03	0.04	1.80	2.20	0.17	0.21	-	-	-	-
	1972	6	0.02	0.03	1.89	2.55	0.18	0.33	0.04	0.08	0.04	0.08
	1973	6	0.01	0.01	-	-	-	-	0.02	0.03	0.00	0.00
	1974	2	0.05	0.06	-	-	-	-	0.10	0.11	0.02	0.03
	1975	2	0.01	0.01	-	-	-	-	0.03	0.03	0.00	0.00
	1976	2	0.01	0.01	-	-	-	-	0.02	0.02	0.00	0.00
	1977	2	0.05	0.05	-	-	-	-	0.03	0.05	0.01	0.01
	1978	2	0.01	0.01	-	-	-	-	0.02	0.02	0.00	0.00
	累年			0.02	0.06					0.04	0.11	0.01
全国			0.02	0.14					0.02	0.14	0.02	0.60
みかん	1971	3	0.01	0.01	0.50	0.60	0.23	0.28	-	-	-	-
	1972	3	0.00	0.00	0.43	0.56	0.32	0.36	0.01	0.01	0.02	0.03
	1973	3	0.00	0.00	-	-	-	-	0.02	0.02	0.01	0.02
	1974	1	0.01	0.01	-	-	-	-	0.09	0.09	0.02	0.02
	1975	1	0.00	0.00	-	-	-	-	0.01	0.01	0.02	0.02
	1976	1	0.00	0.00	-	-	-	-	0.01	0.01	0.00	0.00
	1977	1	0.01	0.01	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00
	1978	1	0.00	0.00	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00
	累年			0.00	0.01					0.02	0.09	0.01
全国			0.02	0.61					0.06	0.78	0.01	0.31
茶	1971	1	0.08	0.08	2.17	2.17	0.59	0.59	-	-	-	-
	1972	1	0.02	0.02	3.96	3.96	2.17	2.17	0.15	0.15	0.07	0.07
	1973	1	0.02	0.02	-	-	-	-	0.13	0.13	0.51	0.51
	1974	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1975	1	0.10	0.10	-	-	-	-	0.30	0.30	0.00	0.00
	1976	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	1978	1	0.02	0.02	-	-	-	-	0.00	0.00	0.01	0.01
	累年			0.05	0.10					0.15	0.30	0.19
全国			0.08	0.75					0.34	1.50	0.07	0.69

水稻玄米中の重金属類含量は、カドミウム0.11 $\mu\text{g/g}$ 、鉛0.10 $\mu\text{g/g}$ 、砒素0.18 $\mu\text{g/g}$ である。これを全国平均値と対比すると、カドミウム、砒素はほぼ同程度、鉛はやや低かった。

玄米中カドミウム含量は、土壤の種類別には、細粒黄色土・斑紋あり、がやや低いようでもあるが、地点数も少なく、変動係数も大で、土壤統群の間の差に明らかな傾向は認められなかった。

水稻玄米中のカドミウム濃度は、全国平均値で0.10 $\mu\text{g/g}$ であって、本調査でも、ほぼ同様の数値を示したが最高値については、本調査の設定地点の中には、農用地

土壤汚染対策地域の指定要件である1.0 $\mu\text{g/g}$ をこえる地点はなかった。しかし、カドミウム環境汚染要観察地域の基準である0.4 $\mu\text{g/g}$ をこえる地点は、調査年次により認められた。

土壤の種類別の玄米中重金属類含量について、只木ら¹⁸⁾はカドミウム⁵⁾について、僅かの差のあることを認めており、また前野らは、その差異は明らかでないとしている。本調査でもこれと同様、その差異は明らかでなかった。

(2) 畑作物中の重金属類含量

普通畑の作物は大根で、カドミウム0.02 $\mu\text{g/g}$ 、鉛0.04 $\mu\text{g/g}$ 、砒素0.01 $\mu\text{g/g}$ であり、ほぼ全国平均値と同程度であ

った。

樹園地の作物は、みかんと茶で、地点数も少ないが、重金属類含量は全国平均値にくらべ、いずれも低かった。

3. かんがい用水中の重金属類含量

かんがい用水中の、重金属類含量の累年平均値を第6表に示した。

第6表 かんがい用水中の重金属類含量 (ppm)

調査年度	地点数	カドミウム		亜鉛		銅		鉛		砒素		pH
		平均	最高	平均	最高	平均	最高	平均	最高	平均	最高	
1971	70	0.00	0.00	0.00	—	0.00	—	—	—	—	—	7.4
1972	70	0.00	0.00	0.01	0.12	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	7.2
1973	70	0.00	0.00	0.00	0.15	0.01	0.04	0.00	0.03	0.00	0.01	7.3
1974	24	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.01	7.3
1975	23	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	7.1
1976	23	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	7.2
1977	24	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	7.4
1978	23	0.00	0.00	0.03	0.48	0.00	0.02	0.00	0.04	0.00	0.00	7.1
累年		0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.04	0.00	0.04	0.00	0.01	7.3
全国		0.00	0.10	0.04	3.08	0.01	6.45	0.01	0.43	0.00	0.11	—

かんがい用水全体の平均値は、カドミウム、亜鉛、銅鉛、砒素とも0.00ppmで、極めて低く、全国平均値よりも低かった。農業（水稻）用水基準の重金属類濃度は、亜鉛0.5ppm、銅0.02ppm、砒素0.05ppmであるが、銅で1回、1地点が上回った他は、いずれも低かった。

経年変化では、特に大きな変化はないが、1978年

に亜鉛が平均値、最高値とも、やや高い値を示した。

4. 水田土壌および玄米中の重金属類含量の相互関係

(1) 土壌中の重金属類の相互関係

水田土壌および玄米中の重金属類含量の相関関係を第7表に示した。

第7表 土壌および玄米中の重金属類含量相互間の相関係数

区分	試料数	土壌pH (H ₂ O)					土壌中Cd					土壌中Zn			土壌中Cu			土壌中Pb		土壌中As		
		土 壌 中					土 壌 中					土 壌 中			土 壌 中			土 壌 中		土 壌 中		
		Cd	Zn	Cu	Pb	As	Cd	Zn	Cu	Pb	As	Cd	Cu	Pb	As	Cd	Pb	As	Cd	As	Cd	As
年次別																						
1971	70	0.46**	0.07	0.35**	—	—	0.19	0.48**	0.14	—	—	0.19	0.60**	—	—	-0.05	—	—	0.11	—	—	—
1972	70	0.38**	0.15	-0.14	0.39**	0.47**	0.10	0.69**	0.16	0.86**	0.76**	0.17	0.51**	0.43**	0.45**	0.18	0.01	0.05	0.30*	0.74**	0.06	0.18
1973	70	0.38**	0.07	-0.27*	0.37**	0.26*	0.02	0.73**	0.06	0.94**	0.77**	0.36**	0.48**	0.60**	0.56**	0.26	-0.05	-0.01	0.10	0.69**	0.26*	0.37**
1974	23	0.73**	0.60**	-0.29	0.66**	0.57**	0.15	0.94**	-0.22	0.98**	0.91**	0.43*	-0.12	0.97**	0.93**	0.49	-0.12	-0.09	0.01	0.94**	0.49*	0.65**
1975	23	0.22	0.18	-0.01	-0.44*	-0.42*	-0.03	0.81**	0.88**	0.14	0.35	0.59**	0.75**	0.05	0.18	0.54**	0.26	0.40	0.73**	0.20	0.09	0.45*
1976	23	0.47*	0.38*	-0.07	-0.22	-0.38	-0.02	0.57**	-0.43*	0.20	0.18	-0.09	0.12	0.20	0.34	-0.18	-0.08	0.06	-0.13	-0.34	-0.06	0.05
1977	24	0.70**	0.66**	-0.09	0.73**	0.00	0.46*	0.93**	-0.26	0.97**	0.10	0.55**	-0.23	0.94**	0.08	0.54**	-0.23	0.13	0.09	0.09	0.58**	0.39**
1978	21	0.31	0.22	0.17	0.20	-0.13	0.06	0.91**	0.90**	0.41	0.41	0.52*	0.91**	0.28	0.31	0.44*	0.22	0.50*	0.49*	0.28	0.55**	0.39**

区 分	試料数	土 壤 pH (H ₂ O)					土 壤 中 Cd					土 壤 中 Zn			土 壤 中 Cu			土 壤 中 P b		土 壤 中 A S		
		土 壤 中					玄米中	土 壤 中				玄米中	土 壤 中		玄米中	土 壤 中	玄米中	土 壤 中	玄米中			
		Cd	Zn	Cu	Pb	As	Cd	Zn	Cu	Pb	As	Cd	Cu	Pb	As	Cd	Pb	As	Cd	As	Cd	Cd
土壤統群別																						
表層腐植質多湿黒ボク土	11	0.51	-0.04	-0.40	-0.19	-0.18	0.46	0.39	-0.15	0.14	-0.64	-0.35	0.48	0.39	-0.53	-0.16	0.09	-0.24	0.23	-0.48	-0.21	-0.12
細粒黄色土斑紋あり	8	0.58	0.09	0.63	0.24	0.12	0.68	0.48	0.03	-0.15	-0.46	0.28	0.07	-0.35	-0.67	-0.12	0.68	0.40	-0.74	0.07	0.48	0.52
礫質黄色土斑紋あり	11	0.72	0.41	0.81	0.86	0.40	0.14	0.91	-0.31	0.79	0.38	0.52	0.04	0.56	0.23	0.67	0.47	0.05	0.29	**	0.74	0.54
細粒灰色低地土・灰色系	37	0.50	0.04	0.09	0.11	0.37	0.02	0.06	0.27	0.04	-0.06	0.08	-0.14	-0.07	-0.22	-0.16	0.70	0.14	0.46	0.17	0.37	0.34
中粗粒灰色低地土・灰色系	53	0.52	0.38	0.13	0.03	-0.18	0.08	0.54	0.36	-0.04	-0.30	-0.05	0.23	0.37	-0.13	-0.23	0.19	0.05	-0.21	-0.13	-0.21	0.40
礫質灰色低地土・灰色系	25	-0.09	-0.00	-0.11	-0.12	0.09	0.13	0.17	-0.39	0.03	-0.52	0.34	0.21	0.14	-0.34	-0.21	0.60	-0.01	-0.35	-0.23	-0.11	-0.29
細粒灰色低地土・灰褐色系	23	0.25	0.37	-0.27	0.04	0.01	0.61	0.42	-0.23	0.86	0.58	0.45	-0.02	0.33	-0.07	0.56	0.03	0.14	-0.11	0.47	0.43	0.01
中粗粒灰色低地土・灰褐色系	7	0.34	0.85	0.53	0.93	0.60	0.31	0.56	0.80	0.42	-0.83	0.02	0.76	0.89	-0.63	0.05	0.52	-0.59	0.30	0.66	0.01	-0.18
灰色低地土下層黒ボク	20	0.31	0.11	-0.28	-0.46	0.04	0.72	0.42	-0.32	0.34	-0.33	-0.14	0.36	0.48	0.04	-0.20	0.06	0.39	0.03	-0.30	0.34	-0.30
灰色低地土下層有機質	4	0.33	-0.62	-0.46	-0.09	0.73	0.93	0.91	0.93	-0.90	0.29	-0.50	0.83	-0.72	0.65	-0.80	-0.73	0.16	-0.49	0.09	0.16	-0.90
細粒強グライ土	27	0.26	0.26	0.27	-0.07	0.03	0.10	0.97	0.99	0.63	0.05	0.57	0.95	0.57	0.07	0.57	0.65	0.04	0.58	-0.35	0.33	0.35
中粗粒強グライ土	18	0.03	0.04	0.23	0.20	0.32	-0.31	0.39	0.28	0.10	-0.37	-0.56	0.65	0.02	0.17	-0.14	-0.18	0.27	-0.09	0.28	-0.09	0.30
中粗粒グライ土	10	0.21	0.15	-0.37	-0.43	-0.18	-0.26	0.58	0.61	0.67	-0.79	0.29	0.69	0.68	-0.04	0.10	0.86	0.30	0.29	0.30	0.49	-0.13
地域別																						
木曾川下流域	14	0.06	0.37	0.14	-0.25	0.06		0.34	0.42	0.25	-0.64		0.55	-0.17	-0.31		-0.09	-0.55		-0.45		
員弁川流域	27	0.60	0.16	-0.27	0.73	0.39		0.78	0.11	0.81	0.46		0.59	0.35	0.10		-0.28	-0.20		0.74		
朝明川流域	36	-0.05	-0.06	0.35	-0.24	-0.42		0.65	-0.17	0.49	-0.21		-0.19	0.38	-0.13		0.41	0.15		0.28		
鈴鹿川流域	36	0.52	0.58	0.15	-0.01	0.06		0.71	0.22	0.19	-0.16		0.58	0.15	0.06		0.04	-0.25		-0.16		
安濃川流域	23	0.10	-0.18	-0.47	-0.27	-0.11		0.40	-0.03	0.19	-0.26		0.12	0.51	-0.27		0.24	-0.23		-0.20		
雲出川流域	22	0.51	0.14	-0.50	-0.28	-0.31		0.21	-0.20	-0.05	-0.15		-0.08	0.45	-0.33		0.27	-0.15		0.02		
榊田川流域	32	0.16	0.07	-0.39	-0.60	0.06		0.26	0.08	0.12	-0.20		0.18	0.31	0.24		0.54	-0.25		-0.15		
宮川流域	10	0.13	-0.05	0.15	0.10	-0.13		0.37	-0.74	-0.62	-0.21		-0.20	-0.17	-0.46		0.70	-0.36		-0.20		
木津川流域	22	-0.02	-0.36	0.30	-0.44	-0.10		0.63	0.33	0.28	-0.68		0.33	0.03	-0.33		-0.06	-0.19		-0.06		
名張川流域	8	0.02	-0.05	0.60	0.69	0.33		0.40	0.29	0.31	-0.31		0.06	-0.26	-0.14		0.89	-0.84		-0.74		
志摩地域	11	0.03	-0.40	-0.77	-0.73	0.25		-0.03	-0.02	-0.10	-0.62		0.81	0.65	-0.39		0.89	-0.47		-0.29		
紀南地域	7	0.21	-0.51	-0.28	-0.16	-0.54		0.85	0.95	0.73	-0.27		0.89	0.70	0.23		0.85	-0.14		0.06		

(注) ** 1%水準 * 5%水準でそれぞれ有意。

年次別にみると、土壌のpHと重金属類含量についてカドミウムは正の相関があり、年次によってかなり高い相関が認められた。また亜鉛、鉛、砒素についても、年次によって正の相関がみられた。

土壌中のカドミウムと他の重金属類について、亜鉛とは高い相関があり、鉛、砒素についても、年次によりかなり高い相関が認められた。銅については明らかでなかった。

亜鉛と銅、鉛、砒素については、正の相関が認められる場合が多かった。

銅と鉛、砒素については、関連は認められなかった。

鉛と砒素については、1974年までの3カ年、全砒素との間には、かなり高い相関がみられた。

重金属類相互間の関連を、年次別に検討すると以上のようにあって、重金属の種類によって、年により高い相関の認められる時と、そうでない場合があり、また、その年次が、調査を1/3づつ分割して実施するようになってから、3年周期で関連の認められる場合も多いようであるので、さらに土壌の種類別、地域別についても検討を行った。

土壌統群別にみると、土壌のpHと重金属類含量について、礫質黄色土の銅、鉛等2~3の土壌統群で関連が認められた。また、土壌中のカドミウムと、他の重金属類との関係は、やはり礫質黄色土の亜鉛、鉛等2~3の土壌統群で正の相関がみられた。特に相関の高い礫質黄色土、細粒強グライ土等は、高濃度の地点が含まれて、それぞれの重金属類含量も高い傾向を示した。しかし、全く相関のない土壌統群もあり、全体としてみた場合とでは、かなりの違いが認められた。

地域別にみると、土壌のpHと重金属類含量について員弁川流域のカドミウム、鉛等2~3の地域で関係が認められ、また、土壌中のカドミウムとの関係は、員弁川流域の亜鉛、鉛等で正の関係が認められた。

その他、亜鉛、銅、砒素等についても、河川流域によって、関連の大きいものや、全く逆の傾向を示すものもみられ、一定の傾向は認められなかった。

土壌中の重金属類相互の間には、互に関連の認められるものがあり、特にカドミウムは、天然には亜鉛に伴って産出することから、両者の関連は大きいとされている。³⁾前野らの報告においても、カドミウムと亜鉛の相関は大きく、特にグライ土壌、再積性黒ボク土壌、厚層多腐植質黒ボク土壌、褐色森林土壌などの相関関係が大きいとし、また水田土壌では、亜鉛と鉛の間の相関も比較的大きいと述べている。

本調査においても、この報告とほぼ同様、全体としてみた場合、カドミウムと亜鉛はもちろん、鉛、砒素、ま

た、亜鉛と銅、鉛、砒素との間にも関連が認められた。

しかし、これを土壌別、地域別などに区別して相互関係をみてみると、重金属類含量の高い傾向を示すものが、相互関係もまた大きい場合もあるが、一方、相関の大きいとされるカドミウムと亜鉛の間でも、土壌の種類、地域によって、なかには全く関係の認められないものもみられ、年次別に全体としてみた場合のような、一定の傾向は認められなかった。

(2) 土壌と玄米中の重金属類の相互関係

年次別にみると、土壌のpHと玄米中のカドミウム含量については、いずれも関連は認められなかった。

土壌中のカドミウムや、その他の重金属類と、玄米中のカドミウムとの関係については、年次によって正の相関の認められる場合もあるが、一定の傾向はなく、明らかな関連は認められなかった。

土壌統群別にみても、土壌のpHや、カドミウム等の重金属類と、玄米中のカドミウムの間には、一定の傾向は認められなかった。

水田土壌中のカドミウム含量と、玄米中のカドミウム含量との関係は、これまでの多くの報告でも、必ずしも明確ではなく、その理由として、土壌条件、栽培条件、気象条件等が大きく関与するものとされている。

前野ら⁵⁾は、神奈川県における重金属類概況調査結果から、水稻玄米中のカドミウム含有率と、土壌中のカドミウム含有率の間に、比較的密接な相関関係が存在していると述べている。一方、増島⁶⁾は、水田のカドミウム汚染でまず問題となるのは、土壌中のカドミウム濃度と、玄米中のカドミウム濃度の間の、因果関係の不明確なことであるとし、いろいろな条件が重なり合い、複雑に組合わさっている現場では、単純な相関関係が成立しない方がむしろ当然とも考えられるが、しかし、土壌中のカドミウム濃度が高ければ、カドミウム濃度の高い米を生産する確率も高いことも、また依然として事実であると述べている。また小野ら¹⁰⁾も、水田土壌中のカドミウム、鉛、砒素含量と、玄米中の含量との間に相関を認めていない。

本調査においても、その関連性を年度別に全体として求めた場合と、土壌別、地域別など、個々に分解して求めた場合とでは、当然違いはあるが、いずれも一定の傾向は認められなかった。

また本県の西員弁地域における実態調査^{9, 10)}においても、作土のpHと玄米中カドミウムについては関連の認められる場合もあるが、土壌中のカドミウムと玄米中カドミウムとの関係については明らかではなかった。

カドミウムによる土壌汚染対策に際して、増島も述べているように、このことが一番の問題点であり、今後さらに、いろいろな条件の下で検討を行い、多くの調査成

績にもとづいて、この関係を解析していく必要がある。

摘 要

三重県の農耕地土壌および農作物、かんがい水中の重金属類含量について調査し、重金属類の相互関係等についても検討を行った。

1. 土壌中の重金属類含量について、水田土壌では、全国平均値にくらべ、カドミウム、鉛、砒素は同程度、亜鉛、銅はやや低かった。

土壌の種類別には、西員弁地域の土壌統群で高いものが認められたほかは、余り明らかではないが、カドミウムは細粒灰色低地土・灰褐色系、細粒強グライ土等でやや高い傾向がうかがわれ、また土性が細粒質のものも高い傾向が認められた。銅は多湿黒ボク土が低い傾向を示した。

普通畑土壌では、全国平均値にくらべ、カドミウム、砒素は同程度、銅はやや低く、鉛はやや高かった。

樹園地土壌では、全国平均値にくらべ、カドミウムは同程度、亜鉛、銅、鉛、砒素は低かった。

土壌の種類による差は明らかではないが、黒ボク土の銅含量は水田と同様、低い傾向が認められた。

地目別の重金属類含量を比較すると、カドミウムは最高値で水田がやや高い傾向があり、亜鉛、銅、砒素は樹園地が最も高く、ついで水田で、鉛は水田が最も高く、普通畑土壌はいずれも低かった。

各重金属類の最高値は、いずれも水田で認められたが銅、砒素とも規制値をこえるものはなかった。

地域別の水田土壌重金属類含量は、西員弁地域を含む流域が明らかに高いが、その他の地域では特に異常なもの認められなかった。

重金属類含量の経年変化をみると、水田土壌では余り変化は認められなかった。畑土壌では亜鉛、銅などが、最近になってやや増加の傾向にあるが、地点数が少なく必ずしも明らかでなかった。

2. 農作物中の重金属類含量について、水稻玄米では全国平均値にくらべ、カドミウム、砒素は同程度、鉛はやや低かった。

玄米中カドミウム含量は、土壌の種類別には明らかな傾向は認められなかった。

普通畑の大根では、ほぼ全国平均値と同程度であり、樹園地のみかん、茶ではいずれも低かった。

3. かんがい水中の重金属類含量については、全国平均値よりいずれも低かった。

経年変化は大きなものはないが、最近、亜鉛がやや高い値を示した。

4. 土壌中の重金属類の相互関係について、全体とし

てみると、カドミウムと亜鉛との間には高い相関があり、鉛、砒素との間にも、年次によりかなり高い相関がみられた。しかし、土壌の種類別、地域別等にも区分してみると、一定の傾向はみられなかった。

5. 土壌と玄米中の重金属類の相互関係について、土壌中のカドミウムをはじめ、いずれの重金属類も、玄米中のカドミウム含量との間に、一定の傾向は認められなかった。

謝 辞

この調査は、地力保全研究室および環境調査研究室が担当し、調査の実施にあたっては、農蚕園芸課、農業改良普及所、農業事務所、市町村役場、農業協同組合等の各位の御協力をいただいた。これらの方々に対して厚くお礼を申し上げる。

参考文献

- 1) 林 雄、柴 英雄 (1982) 埼玉県耕地土壌の重金属類含量の現況と対策 埼玉農試研報 38 55~94
- 2) 長谷川秀穂、橋本俊一、鶴野慶吉、茂木惣治、三宅信、中野政行 (1976) 土壌汚染に関する研究 (第1報) 栃木農試研報 21 27~35
- 3) 環境庁土壌農業課 (1973) 土壌汚染 白亜書房
- 4) 児玉幸弘、戸田鉦一、米野泰滋、戸波多美子、石川裕一、広瀬和久 (1980) 重金属による土壌汚染に関する研究 (第1報) 三重農技研報 8 63~72
- 5) 前野道雄、和地 清、岩村紅美子、澁谷修造 (1977) 農耕地における土壌、農作物の重金属含量 神奈川農総研報 117 11~21
- 6) 増島 博 (1972) 農用地の土壌汚染の現状と対策 農及園 47 (1) 8~12
- 7) 三重県 (1971~1978) 環境白書
- 8) 三重県立農業試験場 (1959) 低位生産地事業成績書
- 9) 三重県農業技術センター (1977) 土壌汚染防止対策調査関係成績書
- 10) 三重県農業技術センター (1978~1979) 土壌汚染防止対策調査関係成績書
- 11) 森本拓也 (1972) 温州みかんの微量金属元素の過剰に関する研究 三重農技研報 1 61~69
- 12) 農林省農政局農産課 (1971) 土壌保全対策要綱 土壌保全対策資料 第34号
- 13) 農林省農政局 (1971) 土壌保全対策事業における重金属類の分析法について、土壌保全対策資料 第36号
- 14) 農林水産省農蚕園芸局農産課 (1982) 重金属類概

況調査結果 土壌保全対策資料 第58号

- 15) 農林水産技術会議事務局 (1976) 農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究 研究成果 92
- 16) 小野芳郎、平岡正夫、木村洋二、川中弘二、繁田充保 (1981) 岡山県における農用地土壌、農作物およびかんがい水中の重金属濃度について、岡山農試研報 4 44~56
- 17) 澁谷政夫 (1973) 環境汚染と農業 博友社
- 18) 只木正之、海老原武久、斉藤恵亮、柏倉康光 (1981) 農用地の重金属類概況調査 群馬農試報告 21 37~46
- 19) 上野武夫、西場静雄、森本拓也、辻本敬一、柳瀬膽 (1973) 温州みかんの銅欠乏症に関する研究 (第1報) 三重農技研報 2 20~26
- 20) 上野武夫、森本拓也、西場静雄、下迫勇助、澁谷久治、辻本敬一、中村紀久男 (1973) 温州みかんの銅欠乏症に関する研究 (第2報) 三重農技研報 2 27~45
- 21) 米野泰滋、安田典夫、戸田鉦一、大森瑩一 (1982) 三重県の農耕地土壌に関する研究 (第1報) 三重農技研報 10 35~54