

# 土 壌 汚 染 に つ い て の 基 礎 知 識

飯 村 康 二\*

An Introduction to the Cadmium Pollution of Soil

Koji IIMURA

Hokuriku National Agricultural Experiment Station

## 1. はじめに

本稿では重金属等による土壌汚染をめぐる諸問題について、カドミウムを中心に概略を述べてみたい。

鉱工業排水あるいは排煙など、人工的起因による土壌の重金属汚染は全国的に非常に広汎に起こされ、昭和45年度の農林省の推定によると、汚染された、または汚染のおそれのある農用地面積は37,000haにおよんでいる<sup>1)</sup>。昭和45年には富山県黒部市や福島県磐梯町、新潟県六日町など、カドミウムの汚染が全国的に問題になったのであるが、この年の秋の第64臨時国会で、公害関係法の整備が審議され、農用地土壌汚染防止法を含む14件の公害関係法案が成立した。

土壌汚染防止法は、単独の法律としては、特定有害物質が推定基準をこえたとき、都道府県が対策地域を指定し、必要な対策を実施することを骨子とする事後処理的な性格をもった法律である。特定有害物質第1号としては、周知のようにカドミウムとその化合物が、昭和46年6月の政令で指定され、翌47年10月に銅とその化合物、さらに本年4月にはヒ素とその化合物が指定された。なお鉛、亜鉛などの指定が検討中といわれる。

これらの三つの物質の指定要件は次のようなものである。カドミウムについては、玄米中1.0ppmをこえる量が検出されるか、またはそのおそれの著しい地域、銅は水田土壌中0.1N塩酸可溶銅含量が125ppm以上の地域、またヒ素は1N塩酸可溶ヒ素含量15ppm(地域の条件により10~20ppmの範囲とすることができる)の地域となっている。

これらのうち銅とヒ素は土壌中濃度によって決定される。すなわち両者とも水稲に対する被害が問題とされているのに対し、カドミウムにおいては、人間の食品として1ppm以上含有してはならないという許容基準に基づいている。カドミウムによる土壌汚染問題は、単に作物の生育の阻害だけでなく、一見正常に生育している作物中の有害物質濃度を低下させなければならないという新

しい問題を提起したわけである。

## 2. 汚染の現況

昭和46年から、カドミウムによる汚染地域および汚染のおそれのある地域について、実態を把握するための土壌汚染防止対策細密調査(2.5haにつき1点)が行なわれ、46年には35都道府県117地域約11,700haの土壌と米約4,600点の調査が行なわれた<sup>2)</sup>。この調査は国庫補助および都道府県単独事業として行なわれている。この年の調査で18都道府県28地域において玄米中濃度1.0ppm以上のカドミウムが検出されている。47年度にもカドミウムについて27県76地域合計9,562haの細密調査が行なわれ、18地域から1.0ppm以上のカドミウムを含む玄米が検出されており、また銅については7県8地域1,060haが調査され7地域で土壌中125ppm以上の銅が検出されている<sup>3)</sup>。48年度には31都道府県108地域10,861haの細密調査で36地域から1.0ppm以上のカドミウムを含む玄米が、また銅については18都道府県22地域3,177ha中14地域で基準以上に汚染された土壌が発見されている<sup>3)</sup>。48年度の調査を例にとると、富山県神通川左岸で玄米中5.20ppm、秋田県鹿角市で4.18ppmといった高濃度のカドミウム汚染がみられる。

また、47年度に83地域、48年度には119地域の休廃止鉱山附近の調査が行なわれ、47年度の調査では玄米中カドミウム濃度1.0ppm以上のもの2点、土壌中銅125ppm以上のもの35点が検出されている<sup>3)</sup>。

これらの地域のうち一部は土壌汚染防止法による対策地域として指定され(49年3月現在13地域<sup>4)</sup>)また指定が進められつつあるが、当面休耕されているところも多い<sup>3)</sup>。

汚染源としては、鉱山、精錬所周辺におけるかんがい水や大気汚染によるもののほか、電気工場、メッキ工場などからの汚染がある。最近にいたって、セメント工場やゴミ焼却場(塩ビなどによる)からの排煙によるカドミウムの土壌汚染が問題となっている<sup>4)</sup>。

第1表にカドミウムの用途別販売実績を示した。カド

\* 農林省北陸農業試験場

第1表 カドミウム用途別販売量（暦年）<sup>5)</sup>

(単位 トン)

暦年	合計	メッキ	合金	顔料	塩ビ安定剤	ブラウン管	整流器	触媒	電池	その他	輸出(外数)
40	787	168	42	185	161	13	21	122	51	24	689
41	1,334	223	97	280	283	43	30	212	94	72	447
42	1,412	213	141	352	273	48	27	221	89	48	422
43	1,875	230	208	498	386	60	34	282	101	76	455
44	2,253	269	234	587	466	68	47	344	124	113	461
45	1,485	135	169	444	341	40	60	31	176	89	879
46	1,448	29	87	610	384	10	27	18	224	59	1,311

1. 日本鋳業協会資料 2. 43年、44年は一部推定

ミウムの使用量は次第に減少しつつあるが、その用途の多くは回収不能といわれる。この量を第2表の表層土中のカドミウム量とくらべてみると、日本全体におけるカ

ドミウムの環境濃度が人為的に高められている可能性が考えられる。

### 3. 玄米中カドミウム濃度の許容基準

第2表 日本全土の土壌および玄米中のカドミウム（非汚染地域）

	面積 万平方方	積重 億t	平均濃度 ppm	全カドミウム量* t	摂取量 μg/人・日
全土	37	500	0.40	20,000	
水田	3	45	0.45	2,000	
玄米	(//)	0.12	0.09	1.1	27

\* 表層15cmの濃度が均一であると仮定して計算した。

厚生省の定めた玄米中カドミウム濃度の許容基準は1.0ppm（白米中0.9ppm）であるが、これに対してはいくつかの批判がある<sup>6)7)8)</sup>。これらの批判の骨子は、1)摂取量を求める前提が、尿中濃度30μg/lで、この基準は労働衛生規準としてさえ根拠がうすい。2) この尿中濃度からカドミウム摂取量を算出する際、尿中排出量に対する摂取量の回帰を求めるべきであるのに、摂取量に対する排出量の回帰を求めるというミスを行っている。正し

第3表 土壌および農作物中の重金属等の自然含有量（ppm）

元素	土 壤	玄 米	麦 子 実	野 菜	果 実	牧草、飼料作物
Zn	132 (50~228)	18.95 (15.5~50.80)	22.3 (13.0~38.5)	4.93 (1.4~17.0)	49.3 (~38.50)	43.7 (17.0~80.0)
Cd	0.40 (0.10~1.58)	0.09 (~0.74)	0.043 (0.00~0.17)	0.78 (0.06~1.36)	0.03 (~0.44)	0.26 (0.06~0.63)
Cu	52 (11~108)	2.87 (1.92~15.50)	4.11 (2.30~6.35)	9.4 (1.7~35)	2.13 (~26.50)	19.1 (6.2~47)
Pb	31.9 (18.0~71.7)	0.11 (0.07~0.14)	0.12 (0.07~0.35)	4.0 (1.7~10.9)		1.4 (0.6~3.6)
Ni	25 (20~30)	0.36 (0.14~0.97)	0.23 (0.14~1.07)	4.4 (2.0~13.3)		
As	9.7 (1.9~19.2)	0.20 (0.01~0.29)	0.058 (0.02~0.14)			0.05 (tr~0.09)
Hg	0.10 (0.06~0.15)	0.045 (0.01~0.09)				
Cr	45 (17~140)					
Mo	4.05 (1.5~11.3)					

- (注) 1. 数値は、玄米は水分15%換算、果実は乾物当たり、その他は乾物・風乾物のいずれか表示のないものも含まれている。  
 2. 引用文献<sup>10-20)</sup>  
 3. 玄米および果実の Zn, Cd, Cu は文献<sup>15)</sup>によった。  
 4. 白米風乾物中 Cd 0.005~0.472, 平均 0.066ppm という分析値がある<sup>21)</sup>。

い計算をすれば、尿中濃度30 $\mu\text{g}/\text{l}$ を基準にしても玄米中濃度の限界は0.23ppmでなければならない、というものである。

批判者の1人(浅見)が引用している、FAO(国連食糧農業機構)とWHO(国連世界保健機構)合同の食品添加物に関する専門家委員会(1972)は、鉛、水銀、カドミウムについて検討を行なっている<sup>9)</sup>。カドミウムについては、1)腎皮質中濃度が200ppmをこえると腎臓障害をおこすおそれがある、2)腎皮質中の正常な濃度レベル(スウェーデン人30ppm、アメリカ人25~50ppm、日本人50~100ppm)を現在以上に上げるべきではない、3)腸管における吸収率を5%、日排出量を全量の0.005%として腎皮質中濃度が50ppmをこえないであろう1日当りの摂取量を計算し、許容摂取量の暫定的提案を行なっている。その数値は体重1kg当り1 $\mu\text{g}/\text{日}$ で、体重50kgの人ならば1日50 $\mu\text{g}$ ということになる。

第3表は土壤および農作物中の重金属の天然含有量の比較的最近のデータを集録したものである。第2表の玄米中カドミウムに関するデータは第3表の数値をもとにしている。

1日の米からの摂取量27 $\mu\text{g}/\text{日}$ は全人口の平均値で1日の米の摂取量を約300gとしている。厚生省が玄米中濃度の許容基準をきめたときの計算では摂取量を500g/日としているが、これは決して過大な数字ではないであろう。すなわち、日本人は平均的にみて、すでに専門家委員会の提案した暫定的な摂取量の許容基準のレベルに近い量のカドミウムを米だけで摂取していることが推定される。そしてこれは同委員会の報告にある、日本人の腎皮質中カドミウム濃度が50ppmをすでに上回っていることと対応している。

最近カドミウムをイタイタイ病の原因物質とすることへの疑問が出されている。イタイタイ病とカドミウムの関係についてはさらに十分なとくのいく研究が必要であろう。しかし、その結果の如何に拘らず、有害物質としてのカドミウムが忘れられてはならない。

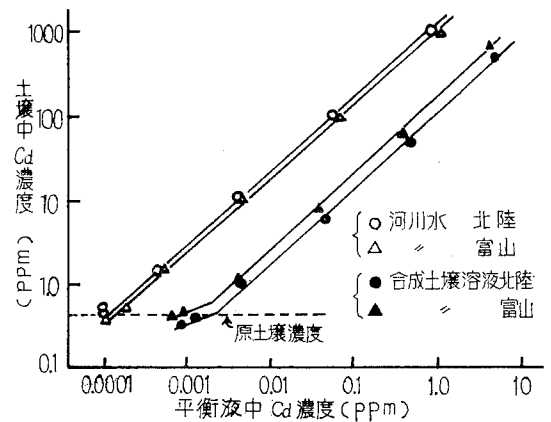
#### 4. 対策地域指定をめぐる問題

銅やヒ素のように土壤中濃度で対策地域を決定する場合にも、境界の設定などの問題があるであろうが、ここでは玄米中濃度で決定するカドミウムの場合についてふりたい。

汚染地域でも非汚染地域でも、玄米中カドミウム濃度と土壤中カドミウム濃度の間に相関が認められないことが知られている。これは土壤条件によるもので、そのなかでも生育期間中の土壤の水管理状態が決定的な影響を及ぼす<sup>14)22)23)</sup>。第2図の例はかなり限定された条件下で

の試験であるが、それでも土壤から玄米への濃縮係数は0.01以下から2以上という変動を示している。地域を限定すればこの変動幅は小さくなるが、対策地域指定は困難で裏付けになる論理を欠いたまま指定の作業をしなければならないことになる。汚染地域で後述のような吸収抑制対策と講じている場合には、吸収抑制の効果が出れば一方において指定地域がなかなかきまらないということがおこり、逆に徹底的に落水栽培するなど吸収されやすい条件で栽培して、地域指定を行なってはどうかという意見もある。

指定から外された近接地域で、とくに0.4ppm以上の玄米が検出された水田については、法律による救済をうけられないという問題が残る。指定からとり残されても一度0.4ppm以上の玄米が検出された水田からとれる米は、政府に買上げられても凍結されるという状態がいつまでも続くのであろうか。何らかの対策——おそらくは



第1図 カドミウムの土壤—溶液間平衡<sup>24)</sup>  
(合成土壌溶液はCa 300ppm, Na50ppm)

第4表 土壤浸透水からのカドミウム吸着  
(カラム法)<sup>14)</sup>

採水日数	北陸農試土壌		富山農試土壌	
	浸透水 Cd(ppm)	吸着率 (%)	浸透水 Cd(ppm)	吸着率 (%)
2~6	0.0021	79	0.0022	78
7~11	0.0004	96	0.0013	87
12~16	0.0004	96	0.0008	92
17~21	0.0004	96	0.0006	94
22~26	0.0006	94	0.0005	95
27~31	0.0007	93	0.0004	96

注1. 分析は浸透水5日分を合わせて分析  
2. 供試液は水道水(桑取川から取水)にCd0.01ppm添加、減水深5cm/日  
3. 土壌カラムの厚さ約5cm

第5表 ラインメーター用土壌中重金属含量<sup>25)</sup>  
乾土当りppm

地名	層位	Zn	Cd	Cu	Pb
富山	I	89.3	0.42	16.9	25.6
	II	61.8	0.22	10.4	14.2
婦中	I	288	0.73	21.0	111
	II	220	0.54	19.6	98
黒部	I	2706	33.5	126	156
	II	659	4.40	24.6	25.3

第6表 ラインメーターにおける水収支<sup>25)</sup>  
(mm, または t/10 a)

	降水量	灌水量	浸透水量	蒸発散
作付期間	701	1,285	1,435*	551
休閑期間	2,059	—	1,874	185
合計	2,760	1,285	3,309	736

\* 平均2cm/日, 70日間

第7表 水田における重金属の収支<sup>25)</sup>  
(g/10 a・年)

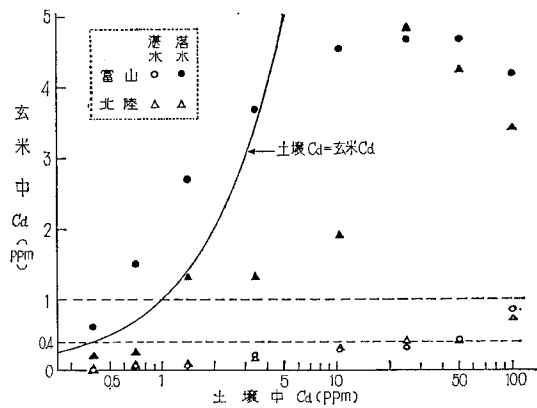
	Zn	Cd	Cu	Pb
富山	207	-0.55	-10.9	-9.8
婦中	165	-1.16	-22.6	-11.8
黒部	-3,980	-11.6	-42.1	-14.7

指定地域と同程度の——がとられて安全が確認されるまでは凍結されなければならないと考えるのが適当ようである。一方第3表にみられるように、汚染がないと考えられる水田からも0.4ppm以上のカドミウムを含む玄米が生産されることがある。表の玄米中カドミウムのデータは、国庫補助で行なわれている概況調査(1000haにつき1点)の結果であるが、この調査において0.4ppm以上の玄米が検出された場合の処置については統一見解が得られていない。汚染源を含めて周辺調査を十分に行ない、とくに玄米中カドミウム濃度が高くなりそうなどころでは、後述の水管理等の対策を行なう必要がある。

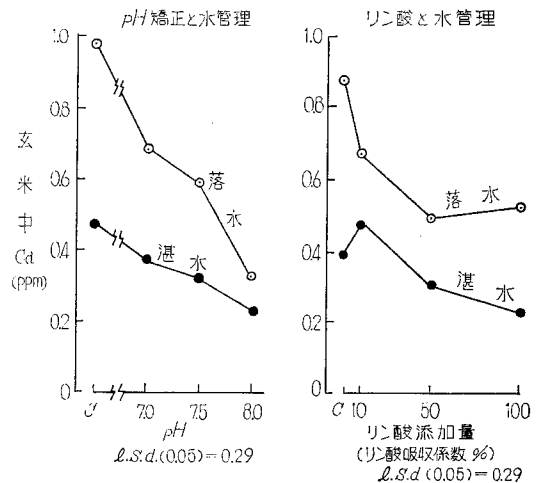
### 5. 土壌—植物系における重金属の挙動

#### (1) 土壌中のカドミウムの挙動

1) かんがい水から土壌への吸着 第1図は河川の水に含まれるカドミウムと土壌との吸着平衡を示したものである。右側の曲線はとくにカルシウムやナトリウムの塩類の濃度が高い条件での吸着平衡である。通常の河川中のカドミウム濃度は0.1ppm程度であり、これより少



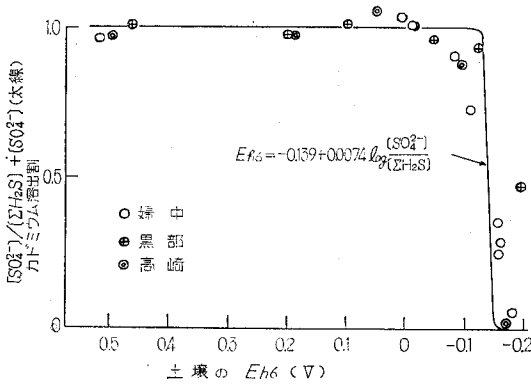
第2図 水管理と土壌中Cd—玄米中Cdの対応<sup>16)</sup>  
(注) 落水は分けつ期以降



第3図 水管理, pH矯正, リン酸添加が水稻のカドミウム吸収抑制に及ぼす影響(2因子交互作用)<sup>26)</sup>(カドミウムは10ppm添加)

しでも濃度が高くなると吸着がおこることがわかる。第4表は5cmの土壌カラムに水質環境基準濃度0.01ppmのカドミウムを含む河川水を浸透させた結果で、90%以上の吸着がみられる。

2) 土壌中の重金属の収支 第5表の重金属含有量の土壌を小型ラインメーターに充てんし、第6表に示した水収支(北陸地域なので降水量とくに冬期間のそれが多)のもとで水稻を作付して、かんがい水による供給と浸透水および水稻による収奪との収支をみたのが第7表である。水稻栽培は全期間湛水下で行なった。これらの土壌の作土中のカドミウム量は対照の富山で10a当り63g, 婦中で110g, 黒部で5kgと計算される。重金属の動きは非常に少ないことがわかる。富山では収支つぐなっていると仮定し、また減少量は作土中濃度に比例する



第 4 図 土 壌 の 酸 化 還 元 電 位 と カ ド ミ ウ ム 溶 出 割 合<sup>15)</sup>

と仮定して婦中および黒部の土壤中のカドミウムの半減期を試算すると、それぞれ120年および、300年という結果を得る。

汚染土壌の自然の浄化は殆ど期待できず、逆に水質環境基準濃度のカドミウムを含む水を年間1,500tかんがいすれば、作土中0.1ppm程度の集積がおこることになる。土壌汚染防止の立場からは、カドミウムの水質環境基準は少なくとももう一けた下げたべきで、日本におけるカドミウムの環境濃度の高さを考えると、自然のレベル以上に濃度を上げてはならないと考えられる。

土壌への吸着のメカニズムとして、粘土表面でのイオン交換、土壌機物との錯化合物形成、土壌中の遊離の鉄やアルミニウムの加水酸化物との共沈などが考えられる。

(2) 水稲によるカドミウム吸収

第2図は水管理条件をかえて水稲をポットに栽培して玄米中のカドミウム濃度を測定して、水稲の吸収応答をみたものである。全期間湛水すれば、土壌中に100ppmあっても玄米中濃度は1ppmに達しないが、生育途中で落水すると、神通川流域などで実際にみられたように5ppmにも達する。

第3図は北陸4県農試と北陸農試が土壌をかえて同一設計で行なったポット試験結果の1例であるが、石灰施用によるpH上昇やリン酸施用が水稲のカドミウム吸収を抑制する効果を示されている。これらの処理はとくに落水(幼穂形成期以降)区で効果が大きい。また、熔成リン肥は石灰とリン酸を併用した程度の効果があり、これらの資材中では最も有効である。

吸収抑制に関する試験は各県農試などで非常に多く行なわれているが吸収抑制のためのこれらの処理は水稲生育に目立った悪影響を与えていないようである。

(3) 土 壌 の 酸 化 還 元 と 重 金 属 の 溶 解

水管理によるカドミウム吸収の著しいちがいは、土壌

第 8 表 土 壌 条 件 と 植 物 の ヒ 素 吸 収

植 物	土 壌 条 件	ヒ 素 の 施 用 形 態	地 上 部 乾 物 収 量	乾 物 中 As 含 量	
				地 上 部	根
稲	畑	ヒ 酸	0.260	ppm	ppm
		亜 ヒ 酸	0.253	4.3	38
稲	湛 水	ヒ 酸	0.213	5.2	67
		亜 ヒ 酸	0.188	4.6	216
小 麦	畑	ヒ 酸	0.658	6.2	500
		亜 ヒ 酸	0.620	2.3	63
				2.6	92

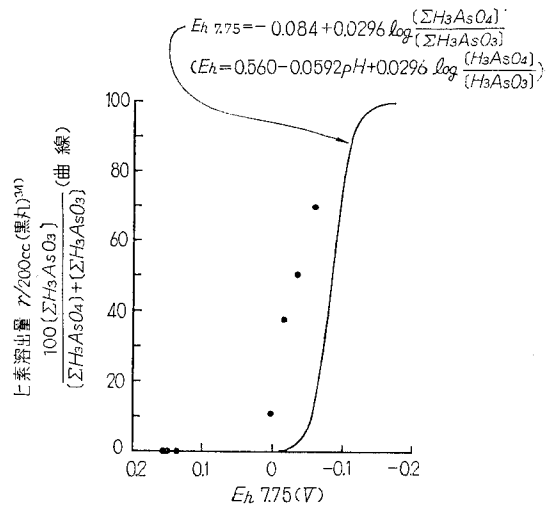
注) 旧無土壌

天正<sup>35)</sup>

稲	水 管 理	土 壌 中 濃 度	玄 米 中 濃 度
	毎朝1回灌水 常時湛水	3.9 ppm	0.09 ppm 0.21

注) 小松市土壌

石川農試<sup>36)</sup>



第 5 図 ヒ 酸 - 亜 ヒ 酸 系 の 酸 化 還 元 電 位 と 土 壌 か ら の ヒ 素 の 溶 出

の酸化還元によって、硫黄が硫酸⇌硫化物という形態変化を受け、硫化カドミウム溶解度が極めて低い(pKsp=27.70)のために土壌中の溶解度が激変することによって考えられる。土壌と湛水でインキュベートして酸化還元電位の低下に伴うカドミウムの溶解度の変化を追跡すると、硫酸の減少を示す理論曲線(第4図の曲線)と一致して、この仮説をうらづけている。亜鉛の溶解度変化もこの仮説と比較的よく合うのであるが、銅はより高いEhのところ溶解度の減少を示すことがある。

石灰やリン酸の施用がカドミウム吸収を抑制する原因を求めて、カドミウムの水酸化物やリン酸塩の溶解度積

から計算した溶存量と土壌溶液中濃度の比較を行なってみると、カドミウムの難溶化がこれらの化合物の形成によるとは考えにくい。鉄やアルミニウムの加水酸化物との共沈や、土壌有機物との錯化合物の形成といった作用が考えられるが、この方面の研究はまだあまり進んでいない。落水が完全でない場合、石灰やリン酸の添加が還元を促進する効果も多く観察されており、現地ではこの効果も大きいと考えられる。

#### (4) 重金属の水稲体中の行動

重金属は一般に根に多く集積し、他の重金属元素や養水分の吸収を阻害して生育障害の原因となる<sup>27-33)</sup>。この作用は銅のように錯体形成能力が大きい元素で著しい。ヒ素を含めて、多くの重金属は地上部とくに穂部への移行が少なく、玄米中濃度はあまり高くならない。亜鉛は比較的地上部へ移行しやすい元素であるが、もともと正常な玄米中に20ppm前後含まれ、培地の濃度が極度に高くなっても玄米中濃度はこの数倍にしかならない。カドミウムは中間的存在とも考えられ、水耕実験では玄米濃度が最高10ppm近くまで達する<sup>14)</sup>。それでも亜鉛よりはずっと地上部へ移行しにくいのであるが、玄米中の自然濃度が0.1ppm位しかないことと、人間に対する毒性の深さのために問題になるわけである。水銀がこれに似て汚染によって玄米中濃度が非汚染米より著しく高くなると考えられる。水銀5ppmを含む水耕液に生育した稲の穂中水銀濃度は4.2ppmに達する<sup>29)</sup>。

#### (5) 土壌の酸化還元とヒ素の挙動

カドミウムと反対にヒ素は湛水条件下で障害が大きくなり、吸収されやすく、また酸化型のヒ素とこれより還元型の亜ヒ酸をくらべると後者の方が毒性が強い(第8表)。カドミウムとの複合汚染がおこると対策が逆になるために厄介である。

ヒ酸と亜ヒ酸に着目して、亜ヒ酸の存在比と酸化還元電位との関係を硫黄の場合と同様に熱力学的に求めると第5図のような曲線を得る。インキュベーションによる溶解実験のデータをプロットしてみると、溶出のパターンと亜ヒ酸の生成量の増加が似ていることがわかる。ヒ酸は三つの解離定数がリン酸とほぼ一致する強さをもつ酸であるが、亜ヒ酸は第1解離定数が $10^{-9.1}$ で弱酸程度の弱酸である。このため還元によって亜ヒ酸が生成すると、遊離の鉄やアルミニウムとヒ酸との結合部分が加水分解して溶出するものと考えられる。

この現象は還元条件下の溶脱によってヒ素を洗滌することに利用できそうに思われるが、下層(おそらく鉄の集積層で)再集積するという<sup>37)</sup>。しかし、鉄の集積層で酸化集積した場合(とくに集積層が深いほど)亜ヒ酸よ

り吸収されにくく毒性も弱いので、対策として有効かもしれない。

### 6. 汚染土壌の改良還元対策

カドミウム汚染については現在のところ、最も有効な対策として土層の入れかえ(客土または排土客土)が考えられている。土壌の層位別の濃度分布によっては天地返しも考えられる。このほかには土壌を稀酸やキレート剤で洗滌する<sup>38)39)</sup>、とくによく吸収する植物を利用して吸収させて除去する<sup>40)41)</sup>、また土壌中で固定するなどの方策も考えられている<sup>42)</sup>。客土または排土客土が最も根本的な改良方法にちがいないが、効果を確実にするためには30cm位の土層をとりかえる必要がある<sup>43)</sup>。従って面積が広いと客土材料が問題であり、莫大な労力と費用がかかるので、効果の確実性を予測することが大切である。また、汚染源の処理を確実にするとか、下層からの吸収を防止するなど、再汚染に対する考慮も必要である。排土を伴う場合、また現在のは試験が行なわれているだけであるが、土壌洗滌や植物を利用する吸収除去の場合も、実施するとすれば、汚染物質の移動を伴うことなので、移動先の考慮もしなければならないという問題がある。

環境基準が一度定められると、この基準値とはかく、ここまでは汚染してもよい基準と考えられ、また実際に行政上はそういう風に処理せざるを得ない面がある。しかし前述のように、わが国のカドミウムの環境濃度をこれ以上高くすることは好ましくない。従って改良目標を少なくとも現在の非汚染地域のレベルにおく必要があると考えられる。

#### 利用文献

- 1) 環境庁(1973) 環境白書昭和48年版, P.265~272.
- 2) // (1974) 同上昭和49年版 P.243~252.
- 3) 環境庁水質保全局(1974) 昭和48年度土壌汚染防止対策細密調査結果のとりまとめ, 土壌汚染対策資料第5号, PP.103.
- 4) 本間慎(1974) 文部省特定研究“人間生存と自然環境”シンポジウム, 「重金属などによる環境汚染とその生物に及ぼす影響」講演要旨, P.1.
- 5) 山根啓利(1972) カドミウムの知識, カルチャー出版社(東京) P.106.
- 6) 浅見輝男(1971) 日本の科学者6, No.9, 35~39.
- 7) 富家孝(1973) 第32回日本公衆衛生学会講演要旨, 467.
- 8) 浅見輝男(1974) 日本の科学者, 9, 423~427.

- 9) FAO/WHO (1972) Evaluation of Certain Food Additives and of the Contaminants Mercury, Lead and Cadmium. 16th Rept of Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. (FAO Nutr. Meeting Rept. Ser. No.51/WHO Tech. Rept. Ser. No.505) 5~24.
- 10) 古谷貞治・篠島豊 (1965) 九大農学芸誌, 22, 45~48.
- 11) 水野直治 (1967) 北海道立農試集報, 15, 48~55, 16, 1~9.
- 12) 水野直治・平井義孝 (1969) 同上, 18, 86~97.
- 13) 金沢純 (1971) 農技研報C, No.25, 109~187.
- 14) 北陸農試 (1971) 昭和45年度水質汚濁が農作物被害に及ぼす影響の解析に関する研究, 昭和45年度研究成績, PP.70.
- 15) 農林省農政局 (1972) 昭和46年度土壌汚染防止対策調査成績, 土壌保全対策資料, No.38, PP.139.
- 16) 北陸農試 (1972) 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, 昭和46年度成績, 39
- 17) 野菜試 (1973) 同上, 昭和47年度成績書, 75~76.
- 18) 四国農試 (1973) 同上, 昭和47年度成績書, 52~55.
- 19) 九州農試 (1973) 同上, 昭和47年度成績書, 44~46.
- 20) 渋谷政夫 (1973) 近代農業における土壌肥料の研究, 第4集, 53~64.
- 21) 森次益三・小林純 (1963) 農学研究, 50, 37~49.
- 22) 大分県農技センター (1971) 土壌肥料試験成績書, 昭和45年春夏作, 28~34.
- 23) 増井正芳ほか (1971) 東京都農試研報, No.9, 1~5.
- 24) 伊藤秀文・飯村康二 (1974) 土肥誌, 45, 571~576.
- 25) 北陸農試 (1973) 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昭和47年度成績, 4~8.
- 26) 北陸農政局 (1974) 汚染土壌における作物栽培技術(カドミウムの土壌-作物関係における挙動と吸収抑制に関する試験, 北陸各県連絡試験結果) PP.109.
- 27) 茅野充男 (1967) 茨城大学術報, No.15, 105~164.
- 28) 茅野充男 (1972) 近代農業における土壌肥料の研究, 第3集, 73~80.
- 29) 石塚喜明・田中明 (1962) 土肥誌33, 421~423.
- 30) 渡辺和彦・日下昭二 (1971) 中国農業研究, 42, 60~62.
- 31) 宮崎政光 (1960) 農及園, 35, 541~542.
- 32) 糸原貞・立谷寿雄 (1965) 東北農業研究, 7, 49~51, 51~54.
- 33) 宮松一夫・板東義仁・寺島利夫 (1972) 福井農試報, No.9, 15~27.
- 34) 前田信寿・手代木智 (1957) 土肥誌28, 185~188.
- 35) 天正清 (1973) 近代農業における土壌肥料の研究, 第4集, 65~71.
- 36) 石川農試 (1973) 昭和47年度農業環境保全に関する成績書, 47~48.
- 37) 山根忠昭 (1975) (談), 土壌中のヒ素の形態変化については, 山根忠昭ほか (1973) 土肥講要集第19集, 159, 参照.
- 38) 小林純ほか (1972) 日衛誌 27, 225. 土肥講要集第20集, 137.
- 39) Takijima, Y., Katsumi, F., and Koizumi, S. (1973) Soil Sci. Plant Nutr., 19, 245~254.
- 40) 環境庁水質保全局土壌農業課 (1973) 昭和47年度土壌保全調査事業成績検討会資料, P.59~65.
- 41) 館川洋・菅野忠敬・斎藤栄 (1973) 土肥講要集第19集, 170.
- 42) 館川洋ほか (1975) 土肥講要集第21集, 138, 小田仲彬ほか (1975) 同上, 138.
- 43) 森下豊昭・穴山豊 (1974) 同上第20集, 137.