

福島県における農作物および土壌の重金属汚染の実態(7)

誌名	福島県農業試験場研究報告 = Bulletin of the Fukushima Prefecture Agricultural Experiment Station
ISSN	03887723
著者名	舘川,洋 斎藤,栄 菅野,忠教
発行元	福島県農業試験場
巻/号	29号
掲載ページ	p. 97-116
発行年月	1990年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



福島県における農作物および土壌の 重金属汚染の実態

第7報 重金属低抗性植物の検索

舘川 洋・齋藤 栄*・菅野忠教

Studies on the Heavy Metal Pollution of Crop and Soil in Fukushima Prefecture

(7) An Exploratory Investigation of Heavy Metal by Resistance Plants
in Heavy Metal Polluted Soils

I 緒言

カドミウム等重金属汚染地域においても、産業として自立し得る農業の確立に向けて、稲作と転作を有機的に結びつけた合理的な土地利用方式を実現するための地域輪作農法を確立することが望まれている。

しかし、これらの汚染地は、カドミウムをはじめとして、亜鉛、銅等の重金属元素の濃度が著しく高いために、食用作物は人体に対する安全性が最優先される今日、基本的には、食用にする器官への有害元素の吸収蓄積が少なく、生理障害を受けにくい種や品種が望まれることになる。

そこで、重金属汚染土壌において、生育障害の発生もなく、栽培可能な重金属抵抗性植物を検索することが急務となる。従って、対象植物としては街路樹、公園樹類と花き類を中心とし、これらは生育における耐性だけが問題となる。

一方、我国においては、鉱山などの重金属含量の高い土壌に他にはみられない特異的な種が共同的に分布している例が古くから知られており¹⁾、²⁾ 鉱脈試掘の指標植物として用いられていた。このことは伝統的に行なわれていた手法でもある。

しかし、一つの重金属に対して耐性を示す植物はいろいろ知られているが、いくつかの種類の重金属にわたる耐性をもった植物は知られていない

のが現状である。

この研究は、まず、カドミウム等重金属汚染源である磐梯町の日曹金属㈱、会津製錬所の工場周辺に自生している野生植物、18科30種について、重金属吸収状況を調査した。この結果に基づいて前報³⁾の重金属特異吸収植物検索試験に引きつづいて、汚染現地における栽培と汚染土壌を使ったホット試験から重金属抵抗性植物を検索するために検討した。

本研究の機会を与えられ終始ご指導とご教示を賜った環境庁水質保全局土壌農業課長松山良三氏、課長補佐吉池昭夫氏、前農林省農業技術研究所の串崎光男作物栄養科長、並びに元福島県農業試験場長の立谷寿雄博士に心から感謝します。

この研究は環境庁の委託研究として、福島県、群馬県と本県の3県で実施された研究成果である。

II 試験研究の方法

1. 磐梯町重金属汚染地域における野生植物の重金属含量調査

磐梯町で操業している日曹金属㈱会津製錬所工場の東側付近に自生している野生植物を1972年8月24～25日に採取して、重金属吸收集積状況を調べて植物による重金属吸収特性を明らかにした。ここで採取した植物は表-1に示したように、18科30種類である。採取した植物体は各器官に分けて乾燥し粉砕して分析に供した。湿式灰化法で

* 齋藤栄 (現 須賀川保健所)

表-1 日曹金属(株)、会津製錬所工場周辺に自生する野生植物名

1. うらぼし科 イ. ヘビノネユザ (<i>Athyrium yokoscense</i> Christ)	9. もくれん科 イ. ホオノキ (<i>Magnolia obovata</i> Thunb)
ロ. ワラビ (<i>Pteridium aquilum</i> Kuhn)	10. いね科 イ. チゴザサ (<i>Isachne globosa</i> O. Kuntze)
2. たで科 イ. ミゾソバ (<i>Polygonum Thunbergii</i> Siet, et Zucc)	ロ. ヒエ (<i>Panicum Crus-galli</i> L. var <i>frumentaceum</i> Trin)
ロ. イスタデ (<i>Polygonum Blumei</i> Meisn)	ハ. エノコログサ (<i>Setaria viridis</i> Beauv)
ハ. ギシギシ (<i>Rumex japonicus</i> Houttuyn)	ニ. クマザサ (<i>Sasa albomarginata</i> Makino et Shibata)
3. つげ科 イ. ツゲ (<i>Buxus microphylla</i> Sieb, et Zucc. var <i>suffruticosa</i> Makino)	ホ. ススキ (<i>Miscanthus sinensis</i> Anderss)
4. やなぎ科 イ. イスコリヤナギ (<i>Salix integra</i> Thunb)	11. くわ科 イ. クワ (<i>Morus bombycis</i> Koidz)
5. きく科 イ. ヒメジヨオン (<i>Erigeron annuus</i> L.)	12. ごまくはぐさ科 イ. キリ (<i>Paulownia tomentosa</i> Steudel)
ロ. ヨモギ (<i>Artemisia vulgaris</i> L. var <i>indica</i> Maxim)	13. ぶな科 イ. コナラ (<i>Quercus serrata</i> Thunb)
ハ. オオアレチノギク (<i>Erigeron sumatrensis</i> Retz)	ロ. ミズナラ (<i>Quercus crispula</i> Blume)
ニ. セイタカタウコギ (<i>Bidens frondosa</i> L.)	14. うこぎ科 イ. ウド (<i>Aralia condata</i> Thunb)
6. すぎ科 イ. スギ (<i>Cryptomeria japonica</i> D. Don)	15. ぶどう科 イ. ツタ (<i>Porthenocissus tricuspidata</i> Planch)
7. かやつりぐさ科 イ. ホタルイ (<i>Scirpus juncoides</i> Roxb. var <i>Hotarui</i> Ohwi)	16. まめ科 イ. ハリエングジュ (<i>Robinia pseudo-Acacia</i> L.)
ロ. ミズガヤツリ (<i>Cyperus sesotinus</i> Rottb)	17. つゆくさ科 イ. ツユクサ (<i>Commelina commuis</i> L.)
8. あやめ科 イ. アヤメ (<i>Iris Nertschinskia</i> Ladd)	18. まつ科 イ. アカマツ (<i>Pinus densiflora</i> Sieb. et. Zucc)
	(合計18科30種類)

分解してから定量し、重金属元素は原子吸光法によった。

2. 重金属抵抗性植物の検索

1) 供試植物の種類と栽培方法

汚染地の実態調査を参考にして、表-2 に示す

ような13科16種を導入して、現地3ヶ所(南小中野、大山、豊石)と、汚染土を供試したポット試験(非汚染土、西沼田、横達、豊石)では13科16種を供試して栽培試験を実施した。(表-3)

供試した植物は市販品の2~3年の苗木を定植した。

表-2 現地試験に導入した植物名

1. やなぎ科 イ. アカメヤナギ (<i>Salix chaenomeloides</i> Kimura)	4. かばのき科 イ. シラカバ (<i>Betula phatyhylla</i> Sukatchev var <i>japonica</i> Hara)
2. もちのき科 イ. イヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> Thunb)	5. かえで科 イ. トウカエデ (<i>Acer Buergerianum</i> Miq)
3. くわ科 イ. クワ (<i>Morus bombycis</i> Koidz)	6. いちい科 イ. カヤ (<i>Torreya nucifera</i> Sieb et Zucc)

ロ. アケボノスギ (メタセコイヤ) (Metasequoia glyptostroboides Hu et cheng) 7. もくせい科 イ. ネズミモチ (Ligustrum japonicum Thumb) ロ. ヒイラギ (Osmanthus illicifolius Mouillefert) 8. にしきぎ科 イ. ニシキギ (Euonymus alata Sieb) 9. ばら科 イ. ボケ (Chaenomeles lagenaria Koidzumi) ロ. ハナカイドウ (Malus Halliana Koehne)	10. もくれん科 イ. モクレン (Magnolia liliflora Desrouss) 11. いちょう科 イ. イチョウ (Ginkgo biloba L) 12. とべら科 イ. トベラ (Pittosporum Tobira Ait) 13. ひのき科 イ. イブキ (Juniperus Chinensis L) (13科16種)
--	---

表-3 栽培試験設計

試験区分	供試土壌 (現地・ポット)	土壌中Cd濃度		土壌の種類	試験規模 (現地・ポット)	
		全量*	可溶性*			
現地栽培	磐梯町 豊石	53	30	黒ボク土	0.250/区 2連制	汚染土
	" 大山	19	5	"		"
	" 南小中野	3	0.4	"		"
ポット栽培	磐梯町 豊石	53	30	黒ボク土	1/2000a ワグネルポット 2連制	汚染土
	" 横達	14	7	"		"
	" 西沼田	8	5	"		"
	郡山市 富田	1	0.2	褐色低地土(強粘土型)		"

注) *全量: 過塩素酸分解法 **可溶性: 0.1規定塩酸抽出法 乾物当たりppm

表-4 ポット試験に供試した花き類

1. きく科 イ. キク (Chrysanthemum morifolium Ramat. var. sinense Makino) ロ. エゾギク (Callistephus chinensis Nees.) ハ. センジュギク (マリーゴールド) (Tagetes erecta L.) 2. あやめ科 イ. グラジオラス (Gladiolus gandavensis var Houtt) ロ. アヤメ (Iris Neartschin Sikia Lodd) 3. ゆり科 イ. テッポウユリ (Lilium longiflorum Thunb)	4. ひゆ科 イ. ケイトウ (Celosia cristata L) 5. しそ科 イ. サルビア (Salvia officinalis L) 6. かなな科 イ. ハナカンナ (Canna generalis Bailey) 7. ききょう科 イ. キキョウ (Platycodon grandiflorum A. DC) 8. ごまのはぐさ科 イ. キンギョソウ (Antirrhium majus L)
--	--

また、ポット試験では一部の花き類についても表-4の8科11種を栽培した。

表-3にしめたような栽培試験設計に基づいて実施した。

現地は前回の報告と同様に、福島県耶麻郡磐梯町の農用地土壌汚染対策指定地域でカドミウム等重金属元素の大気型汚染に由来する場所であり、ポット試験は現地の汚染程度の異なる土壌を供試

し、郡山市の農試本場(非汚染地)で栽培した。
2) 分析方法

土壌中の重金属元素は、前報と同じ方法によった。

植物体の重金属元素は、硫酸-硝酸-過塩素酸で湿式分解し、1規定塩酸溶液になるように定容とし、原子吸光で測定した。その他の分析は常法に従った。植物体の地上部は、栽培後に伸長した

器官を年次別に、試験最終年次には、地下部についても分析した。花き類は一年間栽培して、分析に供した。分析値は乾物当たりのppmで表示した。

3) 栽培に供した土壌の性質

現地試験を設定した磐梯町の周辺農用地は、日

曹金属株式会社製錬所の排煙に由来する重金属複合汚染地で黒ボク土におおわれている地帯であり、前報と同様である。

供試土壌の理化学性は表-5に、重金属含量は表-6に示した通りで、前報と同様である。

表-5 供試土壌の理化学性

試験区分	供試土壌 (現地・ポット)	土性	pH		腐植 %	T-N %	CEC me/100g	Exch - mg/100g			有効態 mg/100g		りん酸 吸収 係数
			H ₂ O	KCl				CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃	
現地栽培	磐梯町 豊石	CL	6.35	5.80	13.5	0.53	26.0	754	83	30	12.9	0.86	1690
	" 大山	L	5.25	4.15	10.6	0.49	18.7	44	15	12	5.6	4.22	1390
	" 南小中野	SCL	5.35	4.35	10.3	0.54	20.2	172	19	14	2.5	3.36	1620
ポット栽培	磐梯町 豊石	CL	6.35	5.80	13.5	0.53	26.0	754	83	30	12.9	0.86	1690
	" 横達	CL	6.75	4.58	14.0	0.55	26.8	331	57	51	13.8	4.91	1730
	" 西沼田	L	6.35	5.55	7.6	0.33	17.3	393	112	39	21.4	2.50	1380
	郡山市 富田	HiC	5.45	4.57	2.0	0.14	9.1	270	99	16	3.5	8.78	740

注) 作土(0~15cm)層

表-6 供試土壌の重金属含量

試験区分	供試土壌 (現地・ポット)	重金属全量* (ppm/乾土)				0.1N-HCl可溶 (ppm/乾土)			
		Cd	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb
現地栽培	磐梯町 豊石	53.49	247	2675	595	30.06	0.19	1301.8	14.10
	" 大山	18.62	70	245	724	4.90	1.66	120.4	39.31
	" 南小中野	2.71	18	75	17	0.40	0.08	8.6	0.72
ポット栽培	磐梯町 豊石	53.49	247	2675	595	30.06	0.19	1301.8	14.10
	" 横達	13.77	55	513	240	7.05	0.25	308.1	9.03
	" 西沼田	8.38	30	375	204	4.84	0.34	221.7	8.35
	郡山市 富田	1.03	7	14	7	0.23	3.39	9.7	0.40

注) *全量: 過塩素酸分解法 作土(0~15cm)層

4) 重金属抵抗性植物の栽培方法

現地試験の圃場には各供試植物を昭和47年6月1日に、またポット試験では、6月5日に移植して栽培を開始した。花き類も同様である。

肥料はa当たり成分でN-0.2kg、P₂O₅-0.4kg、K₂O-0.2kgをそれぞれ硫酸、過石、塩加の単肥で施用したが、石灰類や堆肥は施用しなかった。ポット試験ではa/2000ワグネルポット当たり成分でN-3g、P₂O₅-9g、K₂O-3gを硫酸、過石、塩加の単肥で施用し、石灰類や堆肥は施用しなかった。

III 試験結果

1. 工場周辺に生じている野生植物の重金属吸収状況

磐梯町は標高395~470mの山間高冷地で冬期間の積雪量が多く、根雪期間は平年110~120日におよぶ地域である。工場は磐梯町のほぼ中央部に位置していて、大正5年以来操業された製錬所であり、亜鉛を主として、鉛、銅、カドミウム等を製錬している。本製錬所の大気汚染による被害は古く、農作物や樹木などに限られる徴候はSO_xの煙害が主であった。しかし、昭和40年以降は、SO_xの被害も少なく、不毛化していた原野も緑色を帯びて来ている。

昭和47年8月に生じている野生植物18科30種

表-7 自生する野生植物体の重金属含量と対カドミウム濃度比

No.	種	類	分析 器官	Cd	Zn	Cu	Pb	Zn/ Cd	Cu/ Cd	Pb/ Cd
1	ヘビノネコザ	葉	葉	458.44	1371.8	17.53	131.1	3.0	0.04	0.3
	ワラビ	葉	葉	2.73	437.5	9.14	50.0	160.3	3.4	18.3
2	ミゾソバ	全体	全体	79.08	1717.7	14.63	15.9	21.7	0.2	0.2
	イヌタバ	ク	ク	21.45	1334.3	18.70	155.2	62.2	0.9	7.2
	ギシギシ	ク	ク	4.11	273.6	7.78	34.9	66.6	1.9	8.5
3	ツゲ	葉	葉	74.09	3622.9	17.45	115.3	48.9	0.2	1.6
		枝	枝	38.96	1555.5	18.60	183.0	39.9	0.5	4.7
4	イヌコリヤナギ	葉	葉	26.49	1184.6	11.30	67.5	44.7	0.4	2.5
5	ヒメジヨオン	全体	全体	21.84	1310.7	17.83	55.8	60.0	0.8	2.6
	ヨモギ	ク	ク	19.09	1417.1	24.38	67.1	74.2	1.3	3.5
	オオアレチノギク	ク	ク	16.43	635.1	25.91	58.1	38.7	1.6	3.5
	セイトカタウコギ	ク	ク	19.64	981.3	20.88	20.5	50.0	1.1	1.0
6	スギ	葉	葉	21.33	1513.4	22.56	258.8	71.0	1.1	12.1
7	ホタルイ	全体	全体	17.11	89.4	12.95	108.5	5.2	0.8	6.3
	ミズガヤツリ	ク	ク	1.91	334.4	8.68	39.8	175.1	4.5	20.8
8	アヤメ	葉	葉	11.09	538.8	8.68	3.1	48.6	0.8	0.3
9	ホノキ	葉	葉	10.56	1329.3	26.21	139.9	125.9	2.5	13.2
10	チゴザサ	全体	全体	9.54	814.1	11.81	55.6	85.3	1.2	5.8
	ヒエ	ク	ク	6.48	744.8	7.63	71.1	115.0	1.2	11.0
	エノコログサ	ク	ク	2.30	532.0	8.38	9.4	231.3	3.6	4.1
	クマザサ	葉	葉	1.88	531.2	11.42	60.5	282.6	6.1	32.2
	ススキ	全体	全体	0.87	429.4	6.93	36.7	493.6	8.0	42.2
11	クワ	葉	葉	5.45	560.2	11.20	137.0	102.8	2.1	25.1
12	キリ	ク	ク	5.33	589.5	37.65	41.4	110.6	7.1	7.8
13	コナラ	ク	ク	5.07	414.9	12.04	110.0	81.8	2.4	21.7
	ミズナラ	ク	ク	3.66	398.6	11.20	137.9	108.9	3.1	37.7
14	ウド	全体	全体	4.54	726.3	12.61	7.2	160.0	2.8	1.6
15	ツタ	葉	葉	4.36	493.2	25.07	118.5	113.1	5.8	27.2
16	ハリエンジュ	ク	ク	3.88	493.2	9.14	106.0	127.1	2.4	27.3
17	ツユクサ	全体	全体	3.06	1452.6	18.29	20.5	474.7	6.0	6.7
18	アカマツ	葉	葉	8.77	371.6	11.36	198.2	42.4	1.3	22.6

類の植物を採取して、重金属含量を調査した結果を表-7にしめた。

カドミウム含量が最も高かった植物は、ヘビノネコザで、458ppmをしめし、亜鉛含量も高く、カドミウムの3倍含まれていた。しかし銅と鉛含量は低かった。同じうらぼうし科のワラビは、いずれの重金属も低い値をしめしていた。ついでカドミウム含量が高かったのは、ミゾソバ>ツゲ>イヌコリヤナギ>ヒメジヨオン>スギ>セイトカアワダチソウ>ヨモギ>ホタルイ>オオアレチノギ

クの順で、79ppm~16ppmの範囲にあった。それ以外の植物は10ppm以下で逆に最も含量の少なかった植物は、ススキ、クマザサ、ワラビ、エノコログサ、ミズガヤツリ、ミズナラ、ハリエンジュ、ツユクサなどで、4ppm以下であった。

同一科内の植物でもカドミウム含量に違いがみられ、科による分類はできなかった。しかし、一般に、カドミウム含量の高い植物ほど亜鉛の含量が高く、数百から数千ppmを示していた。銅の含量は一般に数ppmから数十ppmの範囲にあり、

低い値を示していた。鉛は数十ppmから260ppmの範囲にある。

体内のカドミウム含量に比べて、亜鉛は3.0～475倍、銅は0.04～8.0倍、鉛は0.3～42.2倍であり、亜鉛が多く銅が少ない。

枝物ではツゲのカドミウムと亜鉛含量が著しく高いが、Cu/Cd比は低く銅の取り込みが少ない。ついで、スギ、イヌコリヤナギが高くハリエンジュ、ミズナラ、コナラ、クワ、キリで低かった。

銅含量はキリ、ホオノキ、スギが高くハリエンジュ、クワ、ミズナラが低い。鉛含量はスギが最も高く、ついで、マツ、ホウノキ、クワ、ミズナラで高く、キリ、イヌコリヤナギの順であった。

鉛含量は枝物で一般に高い傾向がみられた。

これらの結果から、重金属含量が高くて抵抗性の強い植物と含量が低い植物とに分けられ、この傾向は、同一科による違いより、種類によって違うようである。

重金属含量が高くて、抵抗性の強い植物

野草—ヘビノネコザ、ミゾソバ、ヒメジヨオン、ヨモギ、セイトカウコギ、ホタルイ、オオアレチノギク、アヤメなど。

枝物—ツゲ、イヌコリヤナギ、スギ、ホオノキ

2. 試験圃場における重金属抵抗性植物の生育と重金属含量

1) 現地試験における結果

土壤中のカドミウム等重金属含量の異なる現地で13科16種の主として枝物を導入して、3ケ年にわたって栽培を行ない、秋期に剪定した枝を分析に供した。3年目の栽培終了時には、地上部と地下部に分けて、分析に供した。

栽培期間中に特徴的な生育障害が発生した植物は次のようであった。

葉色が淡く新葉が黄化する植物群と新葉の葉肉部が重金属過剰によるFe欠に類似したクロロシスが発生し、やがて葉の周辺部が黄褐色に変化し一部ネクロシスを生じ、落葉しやすくなる植物群に分けられた。勿論、肉眼的に異常が認められなかった植物群も存在していた。前者には、メタセコイヤ、イチヨウ、モクレン、カンボケ、クワ、トベラ、後者には、ハナカイドウ、アカメヤナギ、ツツジ、などであった。なんら異常が認められな

かった植物群は、イヌツゲ、シラカバ、トウカエデ、カヤ、ネズミモチ、ニシキギ、ヒイラギ、カイヅカイブキなどであった。トベラは寒冷地には適さない植物のために定植後枯死した。

以上のような傾向は、土壤中の重金属含量の高い土壤で著しい。

植物体内の重金属吸収量を3ケ年の平均値で分類すると次のようになる。(表-8～11参照)

ア. 地上部のカドミウム含量が20ppm以上の植物

アカメヤナギ>イヌツゲ>クワ>シラカバ

根には約32ppmから126ppmも含まれている。

イ. 地上部の亜鉛含量が2000ppm以上の植物

アカメヤナギ>イヌツゲ>トウカエデ>メタセコイヤ

根の亜鉛含量は地上部の含量よりもやや低い値をしめしている植物が多い。

ウ. 地上部の銅含量が30ppm以上の植物

メタセコイヤ>アカメヤナギ>カヤ>トウカエデ>ネズミモチ>クワ>モクレン

根の銅含量は地上部の含量よりもやや低い値をしめしている。

エ. 地上部の鉛含量が100ppm以上の植物

メタセコイヤ>トウカエデ>クワ>モクレン>イチヨウ>ニシキギ、ハナカイドウ

根の鉛含量は地上部の含量よりもやや多い値をしめす植物が多い。

これらの特徴は土壤中の重金属含量が高まるほど、また、栽培年次が経過するほど、この傾向が強まっている。

これらを概観すると、カドミウムでは、イヌツゲ>シラカバ>メタセコイヤ>ニシキギの順に高く、体内にカドミウムを取り込みながら、抵抗性の比較的強い植物である。

亜鉛に対しては、イヌツゲ>シラカバ>トウカエデ>メタセコイヤ>ニシキギが、銅に対してはネズミモチ>カヤ>モクレン>ヒイラギ>ニシキギが、鉛に対しては、メタセコイヤ>トウカエデ>モクレン>クワ>ニシキギの順に高い。植物体内含量の高まりは、カドミウムと亜鉛に類似した傾向がみうけられた。また、根の重金属含量は、葉に類似し含量の高いものが一般に高い傾向にあった。

表一 8 現地試験で栽培された植物体のカドミウム含量

区 No	植 物 名	供 試 土 壤	地 上 部 (ppm/乾物)				根 (ppm/乾物)	濃 度 比* (地上部/根)
			47	48	49	平 均		
1	アカメヤナギ	南小中野	/	2.04	5.08	3.56	9.52	0.53
		大 山	/	30.95	60.73	45.84	60.37	1.01
		豊 石	/	71.38	95.48	83.43	82.38	1.16
2	イヌツゲ	南小中野	1.85	2.93	7.03	3.94	10.16	0.69
		大 山	19.95	48.11	55.66	41.24	101.32	0.55
		豊 石	21.79	55.14	645.8	47.17	125.70	5.14
3	クワ	南小中野	0.01	1.30	5.08	2.13	8.80	0.58
		大 山	6.43	11.88	12.81	10.37	21.66	0.59
		豊 石	13.08	19.26	28.76	20.37	36.43	0.79
4	シラカバ	南小中野	0.01	2.48	4.76	2.42	8.66	0.55
		大 山	13.72	30.54	34.06	26.11	32.00	1.06
		豊 石	14.26	17.37	23.13	18.25	29.32	0.79
5	トウカエダ	南小中野	/	1.94	4.26	3.10	8.60	0.50
		大 山	/	8.76	15.72	12.24	20.80	0.76
		豊 石	/	18.12	18.24	18.18	20.16	0.90
6	メタセコイヤ	南小中野	0.01	2.04	3.04	1.70	8.58	0.35
		大 山	4.71	14.11	16.99	11.94	25.34	0.67
		豊 石	14.19	17.72	18.94	16.95	18.84	1.01
7	カヤ	南小中野	0.01	1.40	4.40	1.94	10.50	0.42
		大 山	0.27	11.39	9.73	7.13	17.32	0.56
		豊 石	12.16	15.44	18.43	15.34	26.14	0.71
8	ネズミモチ	南小中野	0.01	1.54	4.19	1.91	6.58	0.64
		大 山	0.41	8.91	8.57	5.96	16.70	0.51
		豊 石	5.92	18.22	18.53	14.22	19.92	0.93
9	ニシキギ	南小中野	0.01	1.25	4.26	1.84	8.24	0.52
		大 山	2.93	14.36	16.35	11.21	59.34	0.28
		豊 石	7.64	16.38	17.31	13.78	69.08	0.25
10	カンボケ	南小中野	0.01	1.31	4.19	1.84	8.10	0.52
		大 山	0.05	8.27	9.10	5.81	19.72	0.46
		豊 石	9.56	11.88	15.82	12.42	21.14	0.75
11	モクレン	南小中野	0.01	1.45	3.72	1.73	6.88	0.54
		大 山	1.35	8.71	11.71	7.26	34.50	0.34
		豊 石	2.82	13.76	18.06	11.55	20.28	0.89
12	イチヨウ	南小中野	0.01	1.54	4.08	1.88	7.96	0.51
		大 山	0.50	7.62	4.26	4.13	10.22	0.42
		豊 石	0.31	12.42	17.34	11.36	21.65	0.80
13	ハナカイドウ	南小中野	0.01	1.45	4.26	1.91	8.60	0.50
		大 山	0.14	5.74	7.61	4.50	12.86	0.59
		豊 石	1.16	14.85	16.73	10.91	24.16	0.69
14	ヒイラギ	南小中野	0.01	1.35	4.68	2.01	8.44	0.55
		大 山	1.71	12.13	13.06	8.97	34.64	0.38
		豊 石	6.99	9.90	10.27	9.05	32.44	0.32
15	トベラ	南小中野	1.14			1.14	/	/
		大 山	15.71	枯	死	15.71	/	/
		豊 石	10.77			10.77	/	/
16	カイツカイブキ	南小中野	0.04	0.80		0.42	/	/
		大 山	0.74	6.93		3.84	/	/
		豊 石	1.18	12.38		6.78	/	/

* 濃度比(地上部/根) 49年の分析値

表一 9 現地試験で栽培された植物体の亜鉛含量

区 No	植 物 名	供 試 土 壤	地 上 部 (ppm/乾物)				根 (ppm/乾物)	濃 度 比* (地上部/根)
			47	48	49	平 均		
1	アカメヤナギ	南小中野	/	256.3	172.8	214.6	120.8	1.43
		大 山	/	2548.5	2726.5	2637.5	1531.4	1.78
		豊 石	/	3139.9	3612.5	3376.2	1396.2	2.59
2	イヌツゲ	南小中野	35.3	139.4	156.0	110.2	140.6	1.11
		大 山	1108.0	1643.0	1830.0	1527.0	2321.0	0.79
		豊 石	1428.6	2590.6	2854.5	2291.2	1671.6	1.71
3	クワ	南小中野	5.98	75.9	73.1	56.3	61.8	1.18
		大 山	556.0	701.1	801.8	686.3	1641.4	0.49
		豊 石	1432.0	1693.4	1721.6	1615.7	1816.9	0.95
4	シラカバ	南小中野	478.4	383.4	406.5	422.8	151.8	2.68
		大 山	2452.5	3402.0	2857.5	2904.0	1477.8	1.93
		豊 石	1824.3	2515.0	2651.5	2330.3	1877.4	1.41
5	トウカエデ	南小中野	/	52.3	40.7	46.5	73.0	0.56
		大 山	/	499.0	590.8	544.9	734.0	0.80
		豊 石	/	2288.2	2674.4	2481.3	886.6	3.01
6	メタセコイヤ	南小中野	16.6	87.1	87.3	63.7	77.4	1.13
		大 山	975.6	1527.1	1689.9	1397.5	1292.2	1.31
		豊 石	1556.9	1900.1	2179.0	1878.7	939.6	2.31
7	カヤ	南小中野	4.4	62.5	62.0	43.0	92.8	0.67
		大 山	106.9	560.7	615.9	427.8	1343.2	0.46
		豊 石	378.6	767.9	898.7	681.7	1070.4	0.84
8	ネズミモチ	南小中野	34.0	107.6	92.0	77.9	169.6	0.54
		大 山	267.7	541.2	873.7	560.9	758.6	1.15
		豊 石	269.3	1441.4	1505.8	1072.2	1337.2	1.13
9	ニシキギ	南小中野	13.7	73.8	61.8	49.8	146.2	0.42
		大 山	605.9	1189.4	1333.0	1042.8	2731.0	0.49
		豊 石	974.5	1617.8	1481.9	1358.1	2674.8	0.55
10	カンボケ	南小中野	17.5	54.3	74.5	48.8	56.2	1.33
		大 山	195.7	354.7	876.5	475.6	695.0	1.26
		豊 石	632.6	982.8	1297.9	971.1	1314.8	0.99
11	モクレン	南小中野	4.1	60.5	56.2	40.3	115.2	0.49
		大 山	213.3	431.5	897.9	514.2	1702.8	0.53
		豊 石	528.5	1244.9	1452.4	1075.3	1342.8	1.08
12	イチヨウ	南小中野	13.9	47.2	43.6	34.9	50.6	0.86
		大 山	133.1	339.3	441.9	304.8	461.4	0.96
		豊 石	498.6	1093.7	1267.4	953.2	986.7	1.28
13	ハナカイドウ	南小中野	15.0	67.8	72.0	51.6	93.0	0.77
		大 山	114.9	355.7	430.4	300.3	456.8	0.94
		豊 石	935.7	1360.8	1495.7	1264.1	1672.4	0.89
14	ヒイラギ	南小中野	31.1	97.4	98.1	75.5	97.4	1.01
		大 山	191.1	625.3	676.3	497.6	850.8	0.79
		豊 石	276.4	882.0	981.7	713.4	1128.8	0.87
15	トベラ	南小中野	35.7			35.7	/	/
		大 山	991.4	枯	死	991.4	/	/
		豊 石	692.6			692.6	/	/
16	カイツカイブキ	南小中野	10.4	55.4		32.9	/	/
		大 山	19.3	337.2		178.3	/	/
		豊 石	231.7	922.3		577.0	/	/

* 濃度比(地上部/根) 49年の分析値

表-10 現地試験で栽培された植物体の銅含量

区 No	植 物 名	供 試 土 壌	地 上 部 (ppm/乾物)				根 (ppm/乾物)	濃 度 比* (地上部/根)
			47	48	49	平 均		
1	アカメヤナギ	南小中野	/	12.03	13.00	12.52	18.92	0.69
		大 山		19.43	21.67	20.55	10.11	2.14
		豊 石		25.94	35.68	30.81	18.72	1.91
2	イヌツゲ	南小中野	5.13	11.28	6.68	7.70	14.46	0.46
		大 山	9.48	22.37	20.43	17.43	26.12	0.78
		豊 石	13.44	25.76	24.90	21.37	19.32	1.29
3	クワ	南小中野	4.98	10.90	6.84	7.57	5.98	1.14
		大 山	15.54	24.25	31.65	23.81	29.50	1.07
		豊 石	40.01	15.34	28.16	27.84	26.73	1.05
4	シラカバ	南小中野	4.63	10.34	8.29	7.75	7.50	1.11
		大 山	8.67	21.24	20.43	16.78	17.72	1.15
		豊 石	12.19	20.87	25.40	19.49	22.04	1.15
5	トウカエデ	南小中野	/	21.06	18.28	19.67	18.50	0.99
		大 山		16.92	19.35	18.14	18.36	1.05
		豊 石		32.71	25.65	29.18	25.86	0.99
6	メタセコイヤ	南小中野	4.27	10.53	9.26	8.02	10.16	0.91
		大 山	13.88	23.31	25.76	20.98	16.32	1.58
		豊 石	27.43	32.15	33.10	30.89	18.90	1.75
7	カヤ	南小中野	7.76	10.90	8.18	8.95	16.78	0.49
		大 山	6.65	22.18	35.23	21.35	11.16	3.16
		豊 石	25.03	29.45	36.70	30.39	20.34	1.80
8	ネズミモチ	南小中野	8.05	47.38	34.97	30.13	30.24	1.16
		大 山	6.36	17.30	27.88	17.18	24.14	1.15
		豊 石	7.62	37.41	39.83	28.29	39.72	1.00
9	ニシキギ	南小中野	6.36	11.47	15.52	11.12	14.36	1.08
		大 山	8.96	29.14	31.21	23.10	34.68	0.90
		豊 石	15.92	25.76	33.47	25.05	35.30	0.95
10	カンボケ	南小中野	7.59	10.72	9.27	9.19	7.84	1.18
		大 山	16.13	14.85	17.62	16.20	26.22	0.67
		豊 石	16.70	18.99	20.16	18.62	24.36	0.83
11	モクレン	南小中野	6.89	14.48	16.72	12.69	19.50	0.86
		大 山	13.59	21.24	23.27	19.37	46.36	0.50
		豊 石	16.31	30.46	36.17	27.65	34.36	1.05
12	イチヨウ	南小中野	2.25	10.34	10.97	7.85	11.18	0.98
		大 山	7.67	14.85	16.51	13.01	16.84	0.98
		豊 石	14.41	27.82	31.45	24.56	19.88	1.58
13	ハナカイドウ	南小中野	3.40	10.34	11.69	8.48	18.06	0.65
		大 山	7.44	17.48	18.78	14.57	20.14	0.93
		豊 石	15.85	27.45	30.44	24.58	19.76	1.54
14	ヒイラギ	南小中野	6.00	33.65	29.27	22.97	11.04	2.65
		大 山	10.84	30.27	33.76	24.96	40.84	0.83
		豊 石	12.81	28.01	27.56	22.79	39.20	0.70
15	トベラ	南小中野	4.63	枯	死	4.63	/	/
		大 山	11.71			11.71		
		豊 石	9.02			9.02		
16	カイヅカイブキ	南小中野	4.96	9.21	/	7.09	/	/
		大 山	7.73	18.42		13.08		
		豊 石	9.14	27.45		18.30		

* 濃度比(地上部/根) 49年の分析値

表-11 現地試験で栽培された植物体の鉛含量

区 No	植 物 名	供 試 土 壤	地 上 部 (ppm/乾物)				根 (ppm/乾物)	濃 度 比* (地上部/根)
			47	48	49	平 均		
1	アカメヤナギ	南小中野	/	20.0	21.4	20.7	25.6	0.84
		大 山		24.7	39.8	32.3	70.3	0.57
		豊 石		92.5	103.2	97.9	163.4	0.63
2	イヌツゲ	南小中野	0.8	16.3	18.9	12.0	19.6	0.96
		大 山	0.1	53.8	50.3	34.7	40.3	1.25
		豊 石	6.6	8.0	28.6	14.4	38.6	0.74
3	クワ	南小中野	0.1	17.5	19.6	12.4	23.7	0.83
		大 山	51.0	66.3	72.4	63.2	92.6	0.78
		豊 石	158.7	146.3	158.3	154.4	163.2	0.97
4	シラカバ	南小中野	0.1	21.3	25.6	15.7	38.4	0.67
		大 山	34.3	63.8	71.4	56.5	100.3	0.71
		豊 石	51.2	66.3	69.8	62.4	98.3	0.71
5	トウカエデ	南小中野	/	25.0	29.4	27.2	40.0	0.74
		大 山		45.0	56.3	50.3	76.5	0.74
		豊 石		170.0	184.2	177.1	168.4	1.09
6	メタセコイヤ	南小中野	0.1	21.3	30.0	17.1	40.6	0.74
		大 山	207.1	112.5	120.3	146.6	198.6	0.61
		豊 石	267.2	287.5	298.0	284.2	300.6	0.99
7	カヤ	南小中野	0.1	20.0	21.8	14.0	25.6	0.85
		大 山	13.2	70.0	83.6	55.6	78.3	1.07
		豊 石	78.4	89.5	103.6	90.5	95.6	1.08
8	ネズミモチ	南小中野	0.1	15.0	18.7	11.3	19.2	0.97
		大 山	0.8	55.0	64.6	40.1	73.8	0.88
		豊 石	1.3	205.0	208.9	138.4	91.6	2.28
9	ニシキギ	南小中野	0.1	22.5	24.7	15.8	38.6	0.64
		大 山	20.1	133.8	153.4	102.4	203.6	0.75
		豊 石	55.4	122.5	145.6	107.8	195.5	0.74
10	カンボケ	南小中野	0.1	21.3	21.7	14.4	27.6	0.79
		大 山	29.3	53.8	64.5	49.2	78.8	0.82
		豊 石	69.7	85.0	98.3	84.3	124.6	0.79
11	モクレン	南小中野	0.1	20.0	23.6	14.6	40.3	0.59
		大 山	43.9	57.5	72.6	58.0	89.6	0.81
		豊 石	77.6	133.8	183.7	131.7	204.3	0.90
12	イチヨウ	南小中野	0.1	20.0	23.8	14.6	26.4	0.90
		大 山	18.0	46.3	55.5	39.9	78.3	0.71
		豊 石	95.1	106.3	128.7	110.0	98.6	1.31
13	ハナカイドウ	南小中野	0.1	20.0	21.6	13.6	25.8	0.84
		大 山	18.4	40.0	50.3	36.2	43.8	1.15
		豊 石	80.3	113.8	127.6	107.2	98.7	1.29
14	ヒイラギ	南小中野	0.1	22.5	27.4	16.7	29.4	0.93
		大 山	2.7	103.8	105.6	70.7	126.7	0.83
		豊 石	6.1	76.3	81.4	54.6	110.6	0.74
15	トベラ	南小中野	0.1			0.1	/	/
		大 山	1.4	枯	死	1.4	/	/
		豊 石	2.0			2.0	/	/
16	カイヅカイブキ	南小中野	0.2	20.0	/	10.1	/	/
		大 山	4.6	61.3	/	33.0	/	/
		豊 石	41.8	145.0	/	93.4	/	/

* 濃度比(地上部/根) 49年の分析値

表-12 供試植物体の重金属含量と含量比 (Cd比)

器官	供試土壌	値	重金属含量(ppm)				Cdに対する含量比(倍)				
			Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	
			地	南小中野	平均 最高 最低	2.28 3.94 1.70	95.4 442.8 34.9	12.47 30.13 7.57	15.7 27.2 12.0	1	41.8
上	大山	平均 最高 最低	14.48 45.84 4.13	987.2 2904.0 300.3	19.10 24.96 13.01	59.7 146.6 32.3	1	68.2	1.3	4.1	
部	豊石	平均 最高 最低	21.64 83.43 9.05	1575.9 3376.2 681.7	25.82 30.89 18.62	115.4 284.2 14.4	1	72.8	1.2	5.3	
根	南小中野	平均 最高 最低	8.54 10.50 6.58	103.3 169.6 50.6	14.61 30.24 5.98	30.1 40.6 19.2	1	12.1	1.7	3.5	
		大山	平均 最高 最低	33.34 101.32 10.22	1285.5 2731.0 461.4	24.18 46.36 10.11	96.5 203.6 40.0	1	38.6	0.7	2.9
			豊石	平均 最高 最低	39.12 125.70 18.84	1436.9 2674.8 886.6	26.04 39.72 18.72	139.4 300.6 38.6	1	36.7	0.7

(注) 地上部は3ヶ年の平均値、但しNo.15、16は省いた。

供試植物の地上部と根部における重金属含量の平均値およびカドミウム含量に対する含量比を表-11、図-1に示した。

これによると、非汚染土(南小中野)に生育した地上部のカドミウム含量に比べて、大山では6.4

倍、豊石では9.5倍、根部では大山が3.9倍、豊石が4.6倍と高まっていて、しかも地上部での高まりが著しい。亜鉛含量は、大山で地上部10.3倍、根部12.4倍、豊石16.5倍、根部13.9倍と、他の金属に比べて著しく増加し、根部でも高まっ

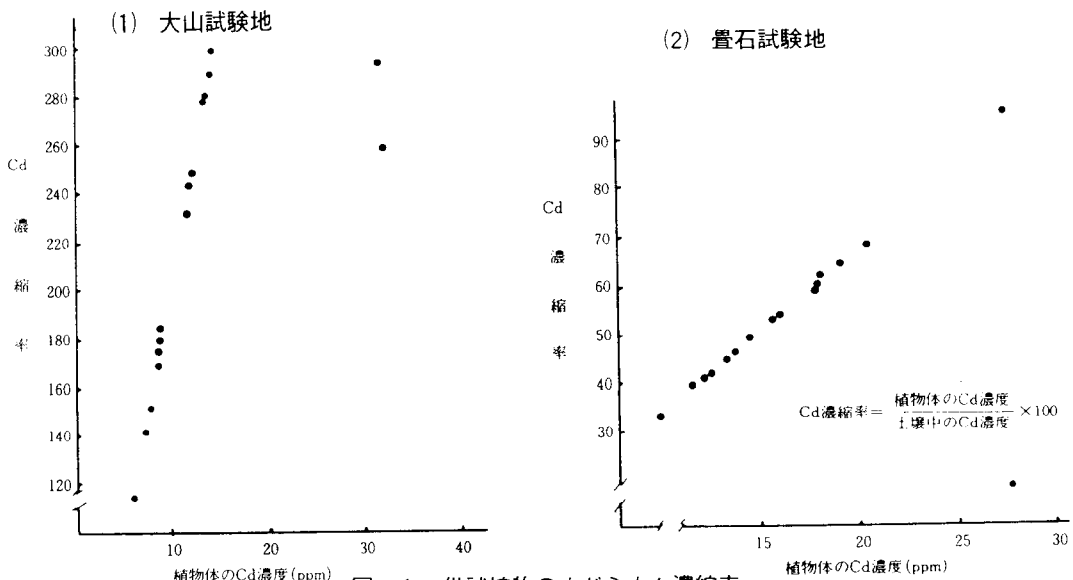


図-1 供試植物のカドミウム濃縮率

ている。銅含量は、大山で地上部1.5倍、根部1.7倍、矚石2.1倍、根部1.8倍と2倍以上の高まりはみられない。このことは、植物に対する金属元素の毒性の違いによるものと考えられた。鉛含量は、大山で地上部3.8倍、根部3.2倍、矚石7.4倍、根部4.6倍と銅について体内濃度は高まっていない。

また、体内濃度をカドミウム対比で比較すると次のようである。地上部では非汚染土(南小中野)の場合(カドミウム:亜鉛:銅:鉛の比)、約1:42:6:7に対して、大山では、約1:68:1:4、矚石では、約1:73:1:5の比率をしめし、カドミウム含量が高まると亜鉛/カドミウム比の増加、銅/カドミウム、鉛/カドミウム比は減少の傾向をしめした。根部では、非汚染土が約1:12:2:4の比に対して、大山では約1:39:1:3、矚石では約1:37:1:4で、これも地上部と同様に、亜鉛/カドミウム比の増加(大山>矚石)しているが、銅と鉛のカドミウム比には非汚染土と大差がみられていない。

2) ホット試験における結果

現地における圃場試験の外に、非汚染地(郡山農試本場)において、土壌重金属含量の異なる4種類の土壌に、表-2の25種類の植物と11種類の花き類を供試して、重金属抵抗性植物の検索を試みた。(表-4参照)

表-14~15に3ヶ年栽培した植物体の地上部(3ヶ年平均値)と根部(最終年次)の体内濃度をしめした。

花き類は単年度の結果である。

重金属汚染抵抗性植物を抵抗性の強弱、体内での重金属濃度および生育障害の様相で分類すると次のようになる。

(1) 重金属抵抗性が比較的強い植物

イ. 体内カドミウム含量が高い植物

イヌツゲ、アヤメ、アジサイ

ロ. 体内カドミウム含量が低い植物

ニシキギ、エゾマツ、トウカエデ、ライラック、ネムノキ、ツガ、ツバキ、カイヅカイブキ、バラ、キョウチクトウ、スオウ

(2) 重金属抵抗性が中程度の植物

イ. 体内カドミウム含量が高い植物

ヒイラギ、ジンチョウゲ

ロ. 体内カドミウム含量が低い植物

モクレン、クワ、ネズミモチ、ツツジ、メタセコイヤ、イチヨウ

(3) 重金属抵抗性が比較的弱い植物

表-13 ホット試験で栽培された花き類の体内重金属含量

区 No.	植物名	供試土壌	Cd (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)
1	キク(赤色)	非汚染土	1.56	32.2	8.15	11.3
		西沼田	8.31	142.4	7.53	12.0
		横達	24.64	701.1	7.52	8.4
		矚石	41.06	1095.5	8.93	13.1
2	キク(黄色)	非汚染土	1.79	45.1	10.39	10.1
		西沼田	9.03	217.4	12.68	16.5
		横達	27.13	919.4	17.48	25.0
		矚石	31.78	1769.0	16.36	51.3
3	エゾギク	非汚染土	3.95	82.3	8.52	13.9
		西沼田	16.23	357.6	23.72	26.9
		横達	19.41	534.0	12.13	18.3
		矚石	22.16	755.1	13.35	24.7
4	グラジオラス	非汚染土	2.29	34.9	3.95	21.3
		西沼田	8.27	68.7	3.95	16.3
		横達	12.42	287.0	3.95	16.3
		矚石	26.38	789.3	4.51	13.8
5	デュークユリ	非汚染土	2.73	58.4	4.89	17.5
		西沼田	7.97	126.1	4.70	20.0
		横達	25.34	864.1	5.64	16.3
		矚石	57.96	1900.1	7.14	22.5
6	ケイトウ	非汚染土	9.37	216.3	13.16	22.5
		西沼田	17.28	905.1	16.54	26.3
		横達	21.44	1120.0	17.03	30.9
		矚石	27.63	1360.7	19.48	35.7
7	サルピヤ	非汚染土	4.46	191.7	12.97	16.3
		西沼田	12.77	467.4	19.55	13.8
		横達	13.56	1622.9	10.90	18.8
		矚石	13.66	1547.3	12.78	27.5
8	カンナ	非汚染土	2.53	68.7	7.90	21.3
		西沼田	8.42	154.8	9.96	25.0
		横達	12.47	357.7	14.66	22.5
		矚石	9.65	289.1	13.72	20.0
9	キキョウ	非汚染土	2.63	64.6	5.45	22.5
		西沼田	9.65	191.7	8.27	27.5
		横達	12.08	412.1	6.58	22.5
		矚石	18.07	619.1	8.65	17.5
10	センジュキク (マリゴールド)	非汚染土	7.09	183.6	11.66	23.8
		西沼田	19.31	234.7	11.47	27.5
		横達	57.42	1320.5	14.10	35.0
		矚石	55.34	937.9	16.17	27.5
11	キンギョソウ	非汚染土	7.73	305.5	14.10	20.0
		西沼田	7.62	262.4	11.66	30.0
		横達	24.75	1733.8	11.66	40.0
		矚石	23.91	918.4	10.34	25.0
12	アヤメ	非汚染土	3.53	42.0	3.97	12.1
		西沼田	15.57	123.6	6.47	16.5
		横達	23.13	511.4	5.42	21.5
		矚石	17.56	889.4	5.70	31.4

イ. 体内カドミウム含量が高い植物

アカメヤナギ

ロ. 体内カドミウム含量が低い植物

ハナカイドウ、ボケ、プラタナス

(4) 重金属含量が高まると生育障害が発生する植物

生育障害の発生にも3種類に分けられた。

表-14 ポット試験で栽培された植物体のカドミウムと亜鉛含量

区 No	植 物 名	供 試 土 壤	C d			Z n		
			地上部	根	地上部/根	地上部	根	地上部/根
1	メタセコイヤ	非汚染土	3.44	4.72	0.73	50.1	47.4	1.06
		西沼田	7.54	13.36	0.56	159.9	174.2	0.92
		横 達	7.64	12.72	0.60	446.8	137.6	3.25
		豊 石	8.67	15.28	0.57	1048.1	531.0	1.97
2	フ ラ タ ナ ス	非汚染土	5.04	4.97	1.01	29.8	48.8	0.61
		西沼田	6.83	14.36	0.48	54.8	205.2	0.27
		横 達	7.53	14.37	0.52	98.4	309.2	0.32
		豊 石	7.93	16.76	0.47	134.5	955.4	0.14
3	ヒ イ ラ ギ	非汚染土	3.93	7.10	0.55	55.6	63.7	0.87
		西沼田	7.63	17.96	0.42	158.8	444.0	0.36
		横 達	18.27	18.45	0.99	238.9	514.2	0.46
		豊 石	11.66	18.14	0.64	286.8	694.0	0.41
4	ネ ズ ミ モ チ	非汚染土	3.18	7.28	0.44	73.2	75.9	0.96
		西沼田	7.75	19.06	0.41	134.9	241.4	0.56
		横 達	7.25	28.04	0.26	279.5	548.0	0.51
		豊 石	7.47	40.32	0.19	279.6	1208.4	0.23
5	ハ ナ カ イ ド ウ	非汚染土	2.26	6.70	0.34	28.5	59.8	0.48
		西沼田	7.18	11.40	0.63	178.6	518.6	0.34
		横 達	6.76	12.36	0.55	164.6	751.2	0.22
		豊 石	7.57	15.76	0.48	480.5	938.1	0.51
6	モ ク レ ン	非汚染土	3.11	10.03	0.31	36.6	100.4	0.36
		西沼田	6.97	47.14	0.15	126.4	1386.0	0.09
		横 達	4.51	41.35	0.11	145.7	1413.9	0.10
		豊 石	4.47	39.60	0.11	178.0	3274.3	0.05
7	イ ヌ ツ ゲ	非汚染土	8.63	8.70	0.99	136.9	161.2	0.85
		西沼田	27.94	49.24	0.57	845.8	564.8	1.50
		横 達	45.92	84.16	0.55	1387.7	2469.3	0.56
		豊 石	69.98	99.18	0.71	1812.5	3611.0	0.50
8	ニ シ キ キ	非汚染土	4.47	9.87	0.45	33.9	154.5	0.22
		西沼田	7.06	45.36	0.16	162.3	3017.4	0.05
		横 達	8.33	75.04	0.11	249.3	6828.8	0.04
		豊 石	13.95	190.70	0.07	734.8	5648.0	0.13
9	イ チ ョ ウ	非汚染土	4.08	4.97	0.82	73.6	54.2	1.36
		西沼田	6.79	14.70	0.46	48.3	351.2	0.14
		横 達	6.76	21.56	0.31	147.8	509.1	0.29
		豊 石	9.62	31.30	0.31	184.3	1545.6	0.12
10	カ イ ツ カ イ ツ キ	非汚染土	3.08	4.88	0.63	36.6	63.3	0.58
		西沼田	6.11	31.95	0.19	109.0	393.5	0.28
		横 達	7.93	44.20	0.18	181.6	550.8	0.33
		豊 石	7.01	40.36	0.17	215.0	786.3	0.27
11	ク ワ	非汚染土	2.08	4.97	0.42	42.0	43.4	0.97
		西沼田	7.69	13.84	0.56	171.5	278.2	0.62
		横 達	8.83	14.76	0.60	295.5	688.4	0.43
		豊 石	9.90	23.14	0.43	487.8	1126.8	0.43
12	ツ ツ ジ	非汚染土	5.01	5.93	0.85	42.0	93.5	0.45
		西沼田	17.03	21.36	0.80	78.7	193.8	0.41
		横 達	17.46	29.60	0.59	158.8	612.6	0.26
		豊 石	19.54	26.62	0.73	215.5	798.0	0.27
13	ア カ メ ヤ ナ ギ	非汚染土	17.92	8.31	2.16	139.6	147.7	0.95
		西沼田	114.73	126.48	0.91	1351.3	294.0	4.60
		横 達	226.34	129.73	1.74	2687.0	1738.5	1.55
		豊 石	279.09	141.65	1.97	4065.5	3019.6	1.35

区 No	植 物 名	供 試 土 壤	C d			Z n		
			地上部	根	地上部/根	地上部	根	地上部/根
14	カ ン ボ ケ	非汚染土	2.97	5.11	0.58	58.8	67.8	0.87
		西 沼 田	6.40	10.86	0.59	165.7	222.0	0.75
		横 達	6.10	10.16	0.60	296.3	323.2	0.92
		豊 石	6.89	18.46	0.37	390.4	741.8	0.53
15	ト ウ カ エ デ	非汚染土	3.33	4.97	0.67	32.5	43.4	0.75
		西 沼 田	6.15	12.36	0.50	177.2	137.6	1.29
		横 達	5.83	11.22	0.52	174.2	160.2	1.09
		豊 石	6.69	15.40	0.43	199.1	609.8	0.33
16	ラ イ ラ ッ ク	非汚染土	3.79	7.21	0.53	44.7	71.8	0.62
		西 沼 田	7.04	42.38	0.17	126.5	567.6	0.22
		横 達	7.33	49.92	0.15	254.6	1385.4	0.18
		豊 石	7.65	141.22	0.05	280.9	4496.0	0.06
17	エ ゾ マ ツ	非汚染土	5.08	5.40	0.94	70.5	56.9	1.24
		西 沼 田	5.11	13.50	0.38	120.8	320.4	0.38
		横 達	4.65	14.26	0.33	116.6	619.0	0.19
		豊 石	5.33	17.46	0.31	140.5	913.2	0.15
18	バ ラ	非汚染土	2.97	6.28	0.47	61.0	92.1	0.66
		西 沼 田	5.97	13.34	0.45	77.3	278.2	0.28
		横 達	6.25	13.20	0.47	213.6	503.0	0.42
		豊 石	7.36	19.46	0.38	222.3	859.8	0.26
19	ネ ム ノ キ	非汚染土	3.65	5.33	0.68	74.5	55.6	1.34
		西 沼 田	6.97	24.06	0.29	146.3	430.0	0.34
		横 達	5.78	20.72	0.28	154.6	177.0	0.87
		豊 石	6.68	26.12	0.26	392.0	817.8	0.48
20	ツ ガ	非汚染土	2.43	12.14	0.20	185.2	161.2	1.15
		西 沼 田	5.78	40.62	0.14	259.9	542.4	0.48
		横 達	6.47	52.82	0.12	456.6	722.2	0.63
		豊 石	7.03	53.26	0.13	511.4	969.6	0.53
21	ツ バ キ	非汚染土	2.31	6.40	0.36	45.7	76.7	0.60
		西 沼 田	5.58	13.84	0.40	84.6	185.4	0.46
		横 達	5.65	18.82	0.30	87.8	480.6	0.18
		豊 石	5.69	13.92	0.41	91.3	359.6	0.25
22	ス オ ウ	非汚染土	5.04	5.54	0.91	36.0	48.8	0.74
		西 沼 田	4.83	24.00	0.20	57.6	399.0	0.14
		横 達	4.54	23.86	0.19	99.8	1534.2	0.07
		豊 石	4.58	19.72	0.23	96.9	1067.8	0.09
23	ア ジ サ イ	非汚染土	4.79	6.53	0.73	86.9	115.2	0.75
		西 沼 田	6.18	80.24	0.08	396.7	1312.2	0.30
		横 達	7.38	145.84	0.05	572.6	1503.0	0.38
		豊 石	11.66	192.76	0.06	1313.5	5536.0	0.24
24	キ ョ ウ チ ク ト ウ	非汚染土	2.36	5.96	0.40	35.9	67.8	0.53
		西 沼 田	6.72	11.50	0.58	61.8	151.8	0.41
		横 達	7.33	12.08	0.61	68.8	326.0	0.21
		豊 石	6.83	13.34	0.51	63.2	497.4	0.13
25	ジ ン チ ョ ウ ゲ	非汚染土	3.11	3.25	0.96	52.8	65.0	0.81
		西 沼 田	7.25	12.22	0.59	71.7	146.2	0.49
		横 達	8.39	13.34	0.63	144.7	134.8	1.07
		豊 石	10.31	12.42	0.83	192.5	373.8	0.51

(注) 地上部/根は濃度比

表-15 ポット試験で栽培された植物体の銅と鉛含量

区 No	植 物 名	供 試 土 壤	C u			P b		
			地上部	根	地上部/根	地上部	根	地上部/根
1	メ タ セ コ イ ヤ	非汚染土	6.46	6.53	0.99	16.3	15.0	1.09
		西 沼 田	6.08	9.72	0.63	21.5	23.0	0.93
		横 達	6.28	9.18	0.68	24.8	26.7	0.93
		豊 石	7.08	10.28	0.69	26.7	30.4	0.88
2	ブ ラ タ ナ ス	非汚染土	5.18	10.90	0.48	21.4	18.6	1.15
		西 沼 田	19.55	14.70	1.33	27.3	32.3	0.85
		横 達	7.75	16.36	0.47	26.0	30.9	0.84
		豊 石	5.92	12.16	0.49	31.0	34.7	0.89
3	ヒ イ ラ ギ	非汚染土	7.81	14.49	0.55	16.0	10.6	1.51
		西 沼 田	9.61	14.38	0.67	21.7	15.8	1.37
		横 達	11.22	25.76	0.44	26.3	19.7	1.34
		豊 石	12.87	30.48	0.42	29.5	23.6	1.25
4	ネ ズ ミ モ チ	非汚染土	7.64	16.67	0.46	18.6	16.4	1.13
		西 沼 田	8.17	21.17	0.39	21.6	20.7	1.04
		横 達	12.75	28.42	0.45	22.8	26.4	0.86
		豊 石	9.60	23.18	0.41	21.3	30.7	0.69
5	ハ ナ カ イ ド ウ	非汚染土	9.74	7.89	1.23	17.6	14.6	1.21
		西 沼 田	11.49	12.87	0.89	18.5	20.3	0.91
		横 達	15.32	16.08	0.95	21.3	28.4	0.75
		豊 石	8.80	19.09	0.46	15.6	21.6	0.72
6	モ ク レ ン	非汚染土	13.72	16.27	0.84	21.5	10.3	2.09
		西 沼 田	45.14	61.22	0.74	29.5	41.6	0.71
		横 達	46.72	89.09	0.52	31.6	40.3	0.78
		豊 石	42.61	87.15	0.49	38.4	49.5	0.78
7	イ ヌ ツ ゲ	非汚染土	6.94	7.60	0.91	14.4	19.6	0.73
		西 沼 田	9.01	16.16	0.56	20.3	24.3	0.84
		横 達	8.07	25.43	0.32	21.6	29.5	0.73
		豊 石	8.97	31.82	0.28	19.7	30.3	0.65
8	ニ シ キ ギ	非汚染土	14.06	10.55	1.33	24.6	15.6	1.58
		西 沼 田	8.36	17.43	0.48	30.4	22.6	1.35
		横 達	8.20	10.92	0.75	30.3	24.3	1.25
		豊 石	7.75	30.74	0.25	36.6	30.3	1.21
9	イ チ ョ ウ	非汚染土	4.43	7.35	0.60	19.6	15.3	1.28
		西 沼 田	5.81	15.74	0.37	28.8	30.6	0.94
		横 達	10.33	15.77	0.66	26.7	38.3	0.70
		豊 石	7.58	31.62	0.24	38.9	42.6	0.91
10	カ イ ツ カ イ プ キ	非汚染土	10.03	22.83	0.44	19.5	16.7	1.17
		西 沼 田	23.29	25.10	0.93	20.6	24.5	0.84
		横 達	14.49	27.66	0.52	23.2	30.0	0.77
		豊 石	10.87	22.01	0.49	32.6	39.3	0.83
11	ク ワ	非汚染土	5.13	5.66	0.91	18.5	12.4	1.49
		西 沼 田	9.89	8.82	1.12	24.9	12.6	1.98
		横 達	8.01	11.32	0.71	16.3	14.3	1.14
		豊 石	6.65	14.58	0.46	26.7	10.7	2.50
12	ツ ツ ジ	非汚染土	10.35	8.69	1.19	28.0	19.5	1.44
		西 沼 田	10.21	10.04	1.02	20.8	20.6	1.01
		横 達	10.65	19.32	0.55	20.7	21.4	0.97
		豊 石	10.68	19.28	0.55	25.6	22.6	1.13
13	ア カ メ ヤ ナ ギ	非汚染土	7.35	8.95	0.82	20.7	19.4	1.07
		西 沼 田	11.06	23.34	0.47	21.6	26.7	0.81
		横 達	12.62	26.75	0.47	33.3	39.8	0.84
		豊 石	19.00	53.12	0.36	31.6	41.6	0.76

区 No	植 物 名	供 試 土 壤	C u			P b		
			地上部	根	地上部/根	地上部	根	地上部/根
14	カ ン ボ ケ	非汚染土	7.90	7.46	1.06	19.4	17.6	1.10
		西沼田	8.31	10.54	0.79	17.3	15.4	1.12
		横 達	7.14	10.60	0.67	20.4	16.3	1.25
		豊 石	6.62	28.48	0.23	19.6	17.4	1.13
15	トウカエデ	非汚染土	5.45	7.23	0.75	18.9	19.3	0.98
		西沼田	7.63	11.26	0.68	21.0	19.8	1.06
		横 達	6.32	8.16	0.77	19.4	16.7	1.16
		豊 石	12.03	11.60	1.04	23.7	19.8	1.20
16	ライラック	非汚染土	5.70	32.18	0.18	15.0	15.6	0.96
		西沼田	9.78	12.92	0.76	18.3	17.3	1.06
		横 達	8.89	16.22	0.55	19.8	16.2	1.22
		豊 石	7.13	33.78	0.21	17.5	15.8	1.11
17	エゾマツ	非汚染土	48.33	9.65	5.01	20.3	18.7	1.09
		西沼田	68.23	11.04	6.18	19.5	16.3	1.20
		横 達	56.61	12.87	4.40	20.7	18.0	1.15
		豊 石	50.40	21.86	2.31	23.6	19.8	1.19
18	バ ラ	非汚染土	7.52	10.49	0.72	19.5	18.3	1.07
		西沼田	7.76	11.54	0.67	20.0	17.4	1.15
		横 達	8.28	11.26	0.74	20.3	18.4	1.10
		豊 石	9.13	11.16	0.82	21.4	19.8	1.08
19	ネムノキ	非汚染土	17.81	13.75	1.30	20.3	19.8	1.03
		西沼田	19.30	28.38	0.68	22.4	20.3	1.10
		横 達	18.98	7.06	2.69	25.6	24.1	1.06
		豊 石	17.88	16.56	1.08	17.8	16.7	1.07
20	ツ ガ	非汚染土	7.89	15.22	0.52	19.0	17.8	1.07
		西沼田	8.29	13.14	0.63	23.7	20.0	1.19
		横 達	8.79	14.02	0.63	21.4	16.9	1.27
		豊 石	8.57	14.36	0.60	20.6	17.3	1.19
21	ツ バ キ	非汚染土	7.80	12.16	0.64	15.3	14.0	1.09
		西沼田	12.25	23.60	0.52	19.6	16.3	1.20
		横 達	12.92	22.30	0.58	21.4	23.8	0.90
		豊 石	11.54	15.24	0.76	19.8	21.4	0.93
22	ス オ ウ	非汚染土	6.52	8.22	0.79	10.7	15.6	0.69
		西沼田	4.86	19.76	0.25	12.4	18.4	0.67
		横 達	5.19	15.34	0.34	25.6	30.4	0.84
		豊 石	5.35	30.92	0.17	30.0	21.6	1.39
23	ア ジ サ イ	非汚染土	5.83	17.55	0.33	19.3	17.8	1.08
		西沼田	8.79	12.98	0.68	21.6	18.7	1.16
		横 達	20.03	94.50	0.21	17.3	18.8	0.92
		豊 石	19.35	42.62	0.45	19.8	21.3	0.93
24	キョウチクトウ	非汚染土	8.72	27.05	0.32	12.4	15.3	0.81
		西沼田	10.74	15.56	0.69	19.8	30.4	0.65
		横 達	9.16	9.72	0.94	29.6	41.4	0.71
		豊 石	8.72	12.26	0.71	40.3	53.9	0.75
25	ジンチョウゲ	非汚染土	3.77	5.82	0.65	9.8	12.6	0.78
		西沼田	8.12	7.30	1.11	18.8	39.4	0.48
		横 達	7.08	13.24	0.53	26.9	53.6	0.50
		豊 石	8.20	11.76	0.70	38.7	62.6	0.62

(注) 地上部/根は濃度比

表-16 重金属汚染抵抗性農作物の分類基準 (Cd濃度)

ランクⅠ (0～5ppm)	ランクⅡ (6～10ppm)	ランクⅢ (11～20ppm)	ランクⅣ (20ppm以上)
1. キク	1. ネズミモチ	1. メタセコイヤ	1. イヌツゲ
2. アカメヤナギ	2. イチョウ	2. ヒイラギ	2. カヤ
3. ハナカイドウ	3. クワ	3. カイズカイブキ	3. ニシキギ
4. エゾギク	4. ツツジ	4. トベラ*	4. シラカバ
5. (大豆)	5. グラジオラス	5. カンボケ	5. トウカエデ
	6. テッポウユリ	6. フラタナス	6. ライラック
	7. ケイトウ	7. モクレン	7. エゾマツ
	8. サルビア	8. アジサイ	8. バラ
	9. ハナカンナ		9. ネムノキ
	10. キキョウ		10. ツガ
	11. マリーゴールド		11. ツバキ
	12. キンギョソウ		12. アカメミズキ
			13. スオー

(注) ランクⅠ (Cu=30ppm以下 Zn= 200ppm以下)
 ランクⅡ (Cu=31～70ppm Zn= 201～300ppm)
 ランクⅢ (Cu=71～150ppm Zn= 301～1,300ppm)
 ランクⅣ (Cu=151ppm以上 Zn= 1,301ppm以上)
 (*): トベラは低温抵抗性が小さい。

イ. 葉肉が黄化し、やがて生育が劣り、落葉する植物

ハナカイドウ、アカメヤナギ、ツツジ、フラタナス

ロ. 葉全体が黄化し、やがて落葉する植物

メタセコイヤ、イチョウ、モクレン、ボケ、クワ、キク(赤、黄)、(トベラ)

ハ. 生育障害は認められないが、土壌重金属含量が高濃度になるにつれて、生育が著しく劣る植物

キク、ネズミモチ、イヌツゲ、アスター

などのように、植物によって反応が異なる事が明らかになった。

Ⅲ 考 察

いわゆる重金属汚染地域では、多くの場合、土壌中に含まれる重金属の種類は、カドミウムをはじめ、亜鉛、銅、鉛等多様である。

従って、植物生育への影響は、重金属元素による複合汚染として作用している(1,2,3,5,8,10-13)。

鉱山などの重金属含量の高い土壌に他には見られない特異的な種が共通的に分布している例は古くから知られており、鉍脈試掘の指標植物として用いられてきた。ある種のキク科の植物は銀鉍の

探査に、ウラニウムの探査にゲンゲ属のある種のもが指標植物として外国では利用されている。

磐梯町の日曹金属株式会社製錬所の工場周辺に自生している野生植物について、生育状況や重金属吸収状況を調べた結果では、体内重金属含量が高く、しかも抵抗性の強い植物、例えば、ヘビノネコザ、ミゾソバなどの野草と、ツゲ、イヌコリヤナギ、スギ、ホオノキなどの枝物に認められた。他方、栽培試験に供試した植物では、カドミウムに対しては、イヌツゲ、シラカバ、メタセコイヤ、ニシキギ等の順に高く、これらの植物、体内にカドミウムを取り込みながら抵抗性が比較的強い植物であった。

反面、ハナカイドウ、アカメヤナギ、イチョウ、モクレン、ボケ、ツツジ、フラタナス等の植物は、土壌中の重金属含量が高まると、葉肉が黄化したり、葉全体が黄化して生育が劣り、やがて落葉する植物もあった。

このように、あたかも特定重金属を好んで多く吸収する蓄積植物と、特定の重金属の過剰で障害を受けやすい感受性植物が存在することが明らかになった。

勿論、ヘビノネコザの重金属汚染地における特殊な分布を見るにつけ、生態的最適域は狭いが、生理的最適域に重金属汚染地をも包含するほど広

いために、重金属に汚染され他種の侵入しにくい荒廃地に先駆植物として定着できたのかも知れない。今後、種生態学的研究により更に明らかにされる必要がある。

植物に対する重金属の吸収と移行の問題は、種々の観点から議論することができ広汎なものであるが、茅野¹⁴⁾が指摘しているように、重金属元素の植物に対する毒性の強さの順位は、元素の錯結合安定度の順位とか、電気陰性度の大小の順位とよく一致すると云う。供試した植物の重金属吸収状況をみると、土壌中の重金属含量が高まるにつれ、非汚染植物に比べて、カドミウムは約6~10倍に、亜鉛は約10~17倍とそれぞれ含量が高まっている。しかも、地上部と根部ともにである。これに対して、銅は地上部、根部ともに、非汚染植物の約2倍以内、鉛は地上部が約4~7倍、根部で約3~5倍で、銅について体内の含量は高まっていない。ここでも、重金属元素の毒性の違いが

Ⅳ 摘 要

重金属汚染抵抗性植物を検索するために、磐梯町重金属汚染地域における野生植物の調査、重金属抵抗性植物の検索のための現地とポット栽培で検討した。

- (1) 重金属汚染現地(磐梯町)に自生する野生植物の調査から、体内重金属含量が高く抵抗性の強い植物には、ヘビノネコザ、ミゾソバなどの野草と、ツゲ、イヌコリヤナギ、スギ、ホオノキなど枝物であった。
- (2) 圃場とポット試験で、植物体内に重金属を取り込みながら抵抗性の強い植物と弱い植物が存在することを明らかにした。
- (3) 土壌重金属含量が高まるにつれ、地上部と根

みられている。従って、カドミウム含量に対する銅含量比は、地上部で約1.2~5.5倍、根では約0.7~1.7倍、鉛含量比は、地上部が約4~7倍、根部では約3~4倍程度と、亜鉛に比べて小さい。

一方、重金属汚染土壌に栽培した植物の中には新葉の葉脈間に鉄欠乏による黄変現象が認められた。中でも、葉肉が黄化するタイプ(ハナカイドウ、アカメヤナギ、等)と葉全体が黄化するタイプ(メタセコイヤ、イチョウ、ボケ、クワ、キク等)とに別れ、いずれも黄化が進むと生育が劣りやがて落葉する。このように植物によって、重金属過剰による鉄欠乏の現われ方にも違いがみられた。

これらの結果から重金属汚染抵抗性植物を表-16のように分類し、感受性植物を指標にして、新たな環境汚染を早期に発見することにも利用できる可能性を指摘した。

部とも一般に非汚染に比べて高まる。なかでもカドミウム含量は約6~10倍、亜鉛含量は約10~17倍と著しく高まったが、銅と鉛含量の高まりは低かった。

- (4) 植物体内のカドミウム含量に対する亜鉛、銅、鉛比率は、カドミウム含量が高まると、亜鉛/カドミウム比が増加、銅、鉛のカドミウム比は減少している。この傾向は、地上部、根部ともに類似していた。
- (5) 土壌重金属含量が高まるにつれ、地上部に生育障害が現われ、発生の様相によって3種類に分類した。
- (6) 感受性植物を指標にして、新たな環境汚染を早期に発見することに利用できる可能性の一端を明らかにすることを見出した。

V 引用文献

- 1) 広井敏男：1976. わが国における銅山植生の植物社会学的研究, 169~218, 文部省特定研究. 人間生存と自然環境.
- 2) 高橋英一：1974. 比較植物栄養学, 養賢堂.
- 3) 館川洋, 菅野忠教, 斎藤栄：1985. 福島県における農作物および土壌の重金属汚染の実態, 第6報, 重金属特異吸収植物を利用した重金属吸収と除染効果, 91~107.
- 4) HANNA, W. J and GRANT, C. L : 1962 , Spectrochemical analysis of the foliage of certain trees and ornamentals for 23 elements : Bull, Torrey Botan. Club, 89 : 293~302.
- 5) 山田要, 宮原克祐, 琴奇融：1975. 重金属による土壌汚染に関する研究：第IV報, カドミウム等重金属の特異吸収植物による土壌浄化について：群馬県農試報告, 第15号, 39~54.
- 6) 山根靖弘他編：1980, 金属の有害作用, 無機生物化学, 11~ 南江堂.
- 7) 坂井弘監修：1974, 作物体中の重金属含量と障害との関係, 農業公害ハンドブック, 12~, 地人書館.
- 8) 伊藤義登, 福永明憲：1977, 重金属汚染土壌における花き, 花木の抵抗性検定と栽培法改善, 第1報, 山口農試研報, 28, 151~157.
- 9) ABE, I and M, KANDA : 1981, Vegetation structures in the copper polluted area in relation to its edaphic factors, Rep. Inst. Agr. Res., Tohoku Univ., 32, 15~26.
- 10) 本間慎, 積田孝一, 手田和人：1975, 重金属汚染休耕田における植物種構成と重金属吸収, 土肥誌, 講要, 21, 129.
- 11) 日下昭二, 世古静生, 田中平義：1976, 花木類の土壌中重金属に対する抵抗性について, 土肥誌, 講要, 22, 163.
- 12) 森島啓子：1986, ストレス耐性資源作出におけるバイオテクノロジーと遺伝資源, 5, 作物の重金属耐性, 農業技術, 446~450.
- 13) 牛島忠広, 田崎忠良, 門司正三：1975, 数種重金属の高等植物に対する影響について, 特にカドミウムおよび亜鉛による生育阻害とイオン吸収蓄積よりみた植物の種特異性について, 文部省科学研究による特定研究.
- 14) 茅野充男, 斎藤寛編：1989, 重金属と生物 81~87.

SUMMARY

The exploration of vegetation was carried out to find the plants resistant to heavy metals in the Bandai area, one of the mining areas polluted with heavy metals in Fukushima prefecture. In addition to this exploration, the effect of heavy metals on plant growth was experimented with in the polluted area and in the laboratory. *Athyrium yokoscense* Christ (Hebinonekoza), *Polygonum thunbergii* Sieb. et Zucc. var *Suffruticosa* Makino (Tsuge), *Salax integra* D. Don (Sugi) and *Magnolia obovata* Thumb. (Hoonoki) were recognized as the resistant plants in the polluted area. A high concentration of heavy metals was observed in these plants. It was recognized that there are resistant plants and plants which have little resistance to heavy metals. The concentration of heavy metals in the plants, both top and root, increased with the concentration of heavy metals in the soil. The concentration of Cd and Zn in the plants on the polluted soils was 6 to 10 times and 10 to 17 times higher respectively, than on the control soils. However, the concentration of Cu and Pb in plants on the polluted soils was not significantly different from that on the control soils. The ratio of Zn to Cd in the plants increased with an increase of Cd, although the ratios of Cu and Pb to Cd showed a reverse tendency. Physical disorders were recognized with the increase of concentration of heavy metals in soils. The metal toxicity of plants was classified to three degrees according to the state of physical disorders. It is suggested that new environmental pollution can be found at an early stage using the plants sensitive to heavy metals.