

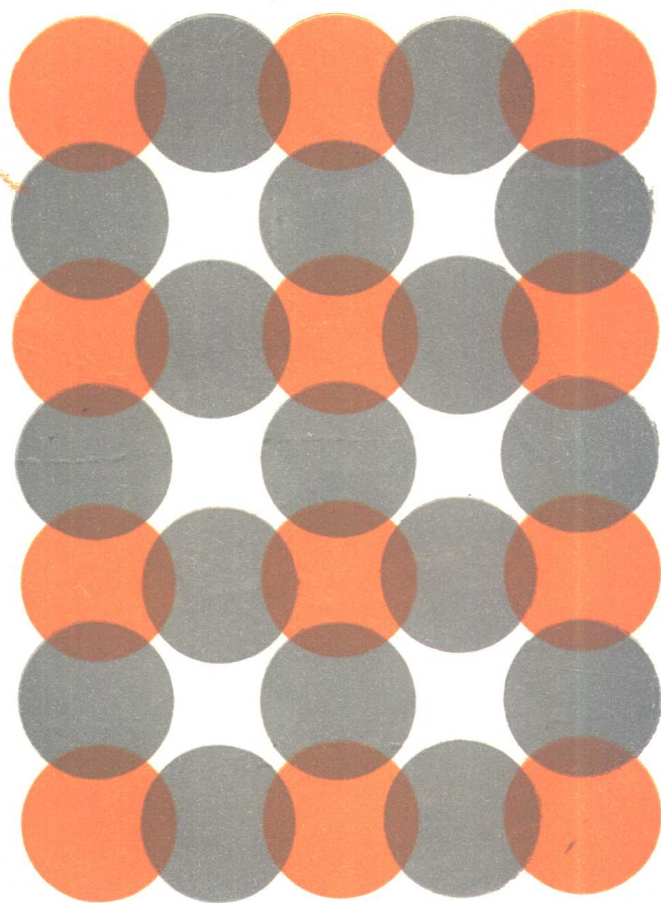
● TURANG WURAN DE
JILI YU JIEXI

土壤污染的机理与解析

● 环境科学特论 ●

● 液谷政夫编著 · 正川于晶译 · 陈九玉校

● 高等教育出版社



土壤污染的机理 与解析

——环境科学特论——

〔日〕波谷政夫 编著

正川一子 晶 译

陈九玉 校

高等教育出版社

内 容 提 要

本书共分七章，第一章土壤污染的现状与对策；第二章重金属元素在土壤中的动态；第三章重金属元素对土壤的污染；第四章水田中镉的自然负荷和人为负荷；第五章重金属与植物；第六章日本水田土壤中重金属的分布；第七章放射性物质在土壤、作物体中的污染及动态。本书是依据作者多年积累的资料为基础，从不同的侧面、较系统地解析了重金属污染土壤的机理，并着重就土壤、作物体中放射性物质的污染问题进行了较详尽的论述。本书可供大专院校有关环境、农业、地理、土壤等专业师生及科技人员参考。

土壤污染的机理与解析

—环境科学特论—

〔日〕渋谷政夫 编著

正川 于晶 译

陈九圣 校

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

开本850×1168 1/32 印张 7 字数 180 000

1988年10月第1版 1988年10月第1次印刷

印数0001—1·110

ISBN7-04-000225-6/K·80

定价2.55元

译者的话

由渋谷政夫编著的《土壤污染的机理与解析》一书，是一部文集性质的专著。全书共12章，分别由各自专业领域内的学有专长并富有实践经验的专家、学者编写的。前五章的内容属于日本各县等地方资料性质的，从第6章开始到第11章，则是以多年积累的资料为基础，从不同的侧面，较系统地解析了重金属污染土壤的机理。最后，第12章就土壤、作物体中，放射性物质的污染问题做了总结性地叙述。考虑到我国环境科学的发展，特别是土壤污染问题尚未引起人们的重视，为此，我们摘译了6—12章（译文1—7章），供有关环境、农业、地理、土壤专业师生及科技人员参考。各章参考文献均从略。

由于译者水平所限，错谬之处在所难免，尚希读者指正。

译者

1984年6月

序 言

土壤是食物生产的重要基地。因此，自古以来人类生活和土壤便有密切的关系。

日本土壤污染问题，从水田农业这一特点出发，可以提出灌溉用的河水的水质污浊问题，并通过农作物减产来衡量其危害情形。

然而，自从“镉米”问题发生以来，从食品生产应保证安全、有利于健康这一全新的观点出发，土壤污染问题便成为国民密切关注的舆论中心了。

在此形势下，继《水体污染的机理与解析——环境科学特论》（日本地球化学会编）一书之出版，计划出版本书，甚感符合当前之急需。

在计划创作本书时，承蒙山县先生之委托，不揣才疏学浅竟承担起此重任了。

临编纂本书之际，曾同东大茅野副教授、农事试验室增岛室长、山县诸先生商讨，确立了在解析重金属污染土壤的机理方面，广泛举出有实际参考意义的资料进行解释性叙述的方针。所以，内容亦先从土壤污染的实际状态和对策开始，就河水与大气之间的联系、重金属在土壤、植物体中的行为、重金属的天然贮存量与污染之间的关系等方面，列举多年积累起来的大量的宝贵资料进行叙述。再者，关于第7章的《土壤、作物体中放射性物质的污染及其动态》，鉴于近年来各界人士高度关心，决定将土壤污染进行广义地解释，特地收录于本书中。

承蒙积极工作在各自专业领域第一线上的执笔者诸贤达，深深领会本书之宗旨，不仅贡献出多年累积下来的宝贵资料，而且

又执笔整理出尚未发表的资料。

当前，我们对土壤污染问题，已经形成长期的经常性的关注课题了。本书在分析土壤污染机理方面，如能对站在不同立场上关心土壤污染的诸位先生，以及直接参加处理土壤污染问题的诸位先生有点滴裨益，乃无上之荣幸。

最后，向提供了宝贵资料的诸位先生致以谢意，同时，对本书出版给以热情赞助的产业图书株式会社编辑部各位先生致以衷心的感谢。

渋谷政夫

1979年10月1日

目 录

第一章 土壤污染的现状与对策	1
1.1 前言.....	1
1.2 土壤污染对策的制度.....	2
1.3 土壤污染的调查测定.....	9
1.4 土壤污染的现状和对策的进步.....	15
1.5 土壤污染对策的课题.....	17
1.6 结束语.....	41
第二章 重金属元素在土壤中的动态 ——主要从土壤化学的角度来探讨——.....	43
2.1 自然存在量的概况.....	43
2.2 重金属在土壤中的蓄积.....	44
2.3 重金属在水田土壤中的收支.....	46
2.4 水稻对重金属的吸收.....	56
2.5 土壤中重金属的形态和行为.....	59
第三章 重金属元素对土壤的污染 ——污染源（大气、水）和污染途径——.....	81
3.1 绪言.....	81
3.2 污染途径.....	83
3.3 渡良濑川流域水田中重金属元素的分布.....	84
3.4 来自农用资料的土壤污染.....	91
3.5 今后关于污染源和污染途径的问题.....	93
第四章 水田中镉的自然负荷和人为负荷	95
4.1 电视机显象管再生厂引起的污染.....	95
4.2 山形县吉野川下游水田的污染.....	100
第五章 重金属与植物	117
5.1 植物吸收土壤中重金属.....	117

5.2	根部吸收重金属及向地上部分转移	123
5.3	植物体内重金属的分布	132
5.4	动物吸收植物体中的重金属	139
5.5	重金属对植物的危害	143
第六章	日本水田土壤中重金属的分布	155
6.1	前言	155
6.2	土壤的环境容量	156
6.3	水田土壤的天然贮存量	157
6.4	冲绳县本岛农耕地土壤重金属的天然贮存量	169
第七章	放射性物质在土壤、作物体中的污染及动态	172
7.1	前言	172
7.2	放射性回降物为污染源	173
7.3	放射性回降物向地表回降和蓄积	173
7.4	放射性物质污染土壤、作物的途径	177
7.5	解析放射性物质行为的方法	179
7.6	放射性回降物污染农耕地土壤、作物	180
7.7	放射性回降物在环境、农业生态系方面的污染途径和行为的 解析事例	188
7.8	^{90}Sr 、 ^{137}Cs 及 ^{131}I 行为的归纳	212
7.9	结束语	214

第一章 土壤污染的现状与对策

吉池昭夫

1.1 前言

近年来，随着企业活动的高度发展，在全国范围内发生了水质污浊和大气污染引起的公害。镉之类有害物质引起的农用地土壤污染也在各地明显化起来。从保护人们健康、维护生活环境的立场看，已经成为严重的社会问题了。然而，土壤污染基本上是通过水质污浊或大气污染发生的，而镉等有害物质污染土壤的特点是：一旦污染了土壤便蓄积下来，几乎不流失。即使对各厂矿企业排放废水和煤烟作了一定的限制，并不能说是完善的对策。因此，就必需和限制性措施有机地联系起来，并在此基础上，实施土壤污染的防止措施，对于已经污染了的农用地，就要采取恢复措施。从污染的特点看，除原有的水质污浊和大气污染之外，土壤污染问题便是新的典型公害。因此，现在已经到了提出土壤污染对策的时候了。

土壤污染问题，早在明治10年前后，即在横跨群馬、栃木两县的渡良瀬川流域一带，因河水被铜污染流进农用地，发生了很大的灾害。象这样由铜之类引起的矿毒问题，除渡良瀬川流域之外，在各地很早以前就出现过。这些矿毒问题，虽然都是因为铜之类有害物质蓄积在土壤中危害了农作物的生长，造成了经济上的损失，也确实是个地区性的大问题，但却没有把它当作全国性的问题提出来。

然而，自从昭和43年^①查明了在富山县神通川流域发生的“疼

^①昭和年代加1925年即转化为西历年代。如昭和43年即为西历1968年。——译者

痛病”的原因是镉引起的慢性中毒，土壤污染才成为突出的问题提了出来。就是说，查明了人们一直认定为奇病的“疼痛病”，系发生在神通川流域一带的居民中间，他们都利用神通川的河水为饮用水，并且又食用该流域生产出来的农作物，以及致病的原因物质就是该河水含有的镉。现在这条河虽然基本上不再含有镉的成分，但周围一带的农用地土壤仍然被镉污染着。

在渡良濑川流域发生的铜的危害，只是危害农作物的生长，而发生在神通川流域的镉等危害却是生产出可能损害人身健康的农产品。镉之类对土壤的污染，除神通川流域之外，已遍及全国各地。所以，土壤污染已成为极其严重的社会问题，其对策已成为当务之急的课题了。

下面就土壤污染的现状与对策做一介绍。

1.2 土壤污染对策的制度

为处理全国各地因镉之类造成的土壤污染，在昭和45年末召开的第64次临时国会（公害国会）上，修改了部分《公害对策基本法》（昭和42年法律第132号）。除从前认定的典型公害——大气污染、水质污染、噪音、振动、地盘下沉及恶臭外，又追加了《土壤污染》作为典型公害的一种，政府还制定了与土壤污染有联系的环境标准。同时，作为施行法律，又制定了《关于防止农用地土壤污染法》（昭和45年法律第139号，以下简称《土壤污染防治法》）。其目的在于保护农用地不受镉之类特定有害物质污染，杜绝生产出危害人类身体健康的农畜产品，防止农作物的生长受损害，从而确保国民的身体健康、维护生活环境。

土壤污染的概念，据公害对策基本法和土壤污染防治法的精神，是指随着企业生产，以及人类日常活动，排出了有害物质，污染了土壤，结果生产出有损害人们健康的农畜产品，或者危害了农作物生长等而言。导致土壤污染的物质，可举出镉和铜来代

表。这种物质在土壤中的特点是既不分解也不流失,长期残留在土壤中。因此被生长在其上的农作物等吸收,从而生产出可能损害人类健康的农畜产品,或者危害农作物生长。除镉和铜外,还有锌、铅、砷、镍、铬、汞等重金属以及聚氯联二苯(PCB),烷基苯磺酸(ABS)和部分有机氯类农药等。对这些污染物质,都是按照公害基本法中的公害对策的规定进行管理的。而放射性物质对环境的污染则不然,不能按照公害基本法中的公害对策的规定进行管理。因为放射性物质一旦进入环境,即可成为广域性的公害因素,对人畜可能造成严重的危害。所以,有另外的法令对它进行管理和防范,即政府已整備了原子能基本法等一系列关系法令,对放射性物质已经按照严格的安全标准作了充分的限制,勿使人畜及环境蒙受危害。

1.2.1 土壤污染防治法的结构

公害对策基本法确定土壤污染为一种典型公害。地方政府必须制订出与土壤污染有关的环境标准。即在确保人类健康、保全生活环境的前提下,能够长期维持下去的标准。而土壤污染对策的具体实施,则按照土壤污染防治法的规定来贯彻执行。土壤污染防治法的概要如下。

1.都道府县知事^①有权将那些符合政令规定的特定地区,即被认定是由政令指定的镉等特定有害物质污染而生产出有损害人们健康的农畜产品或危害农作物生长非常明显的地区,指定为农用地土壤污染对策地区(以下简称《对策地区》)。

2.都道府县知事在指定对策地区时,必须同时制订出该对策地区农用地土壤污染的防止和消除措施,以及被污染所波及的农用地合理利用的对策计划(以下简称《对策计划》)。

3.都道府县知事认为有必要时,可在指定对策地区的同

^①都——首都(东京都),道——北海道,府——直辖市(大阪府、京都府)。行政长官为知事。——译者注。

时,对该对策地区从防止土壤污染的角度出发,根据水质污浊防止法(昭和45年法律138号)或大气污染防止法(昭和43年法律第97号)的规定,采取比制定一般标准更为严格的、特殊的排水标准所必要的措施。

4.都道府县知事对于对策地区范围内的农用地,凡能认定是该农用地生产出有损害人们健康的农畜产品时,有权指定该农用地为特别地区,并有权劝阻不要在该农用地上种植某些农作物。

5.环境厅长官为防止农用地土壤被厂矿企业排出的废水、煤烟等造成污染而认为有必要时,可根据矿山保护法(昭和42年法律第70号)及其他法令之规定,将防止污染所应采取的必要措施,向有关行政机关的主管人提出要求或向有关地方公共团体的主管人进行劝告。

6.都道府县知事要对该都道府县境内有关农用地土壤的污染状况进行调查测定,并公布其结果。

7.另外还要整備一些必要的规定。

如上所述,土壤污染防止法,具备了指定对策地区和对策计划的研究制定等规定。但是,在对策地区,按照对策计划进行土壤污染对策事业的时候,其事业的实施和费用的负担,则按照土壤污染防止法以外的其他关系法令之规定来办理,即根据公害防止事业费事业者负担法(昭和45年法律第133号)之规定,由事业者(污染原因者)负担,而事业者负担的残额,则按照与公害防止事业有关的、与国家财政上的特别措施有关的法律(昭和46年法律第70号)之规定,由国家特别财政援助来开支。而土壤污染对策事业的实施,则是按照土地改良法(昭和24年法律195号)等法律之规定来进行的。

此外,在土壤污染防止法中规定的土壤污染是仅限于农用地的。至于农用地以外的土地不在此限,诸如林地、公园草地、住宅周围地等。其理由是,因为本法的目的是为了阻止由于土壤污染

的结果，生产出有损害人们健康的农畜产品以及农作物的生长受危害，从而有助于保护国民的健康、保护生活环境。凡是有必要运用本法来防止生产出含镉的农作物和因铜的污染使农作物欠产的，皆指农用地而言。然而在农用地以外的土地，由于土壤遭到污染而生产出有损害人们健康的农畜产品或者危害了农作物等的生长，象这种土壤污染，其受害的原因尚未搞清。所以，要想如同对待农用地那样，为谋求防止和消除因特定有害物质对该土壤的污染，以及合理利用被污染的土地而采取必要的措施等情形，在现阶段来说是没有必要的。然而，将来果真在农用地以外的土地上出现了土壤污染，并查明了土壤污染造成的受害实情，同时又必须运用本法来为谋求防止和消除土壤由特定有害物质造成的污染，或者合理利用被污染的土地而采取必要措施的时候，再探讨修改本法，也许会包括农用地以外的土地作为本法的对象。

1.2.2 土壤污染的标准

作为土壤污染的标准有两个方面，即根据公害对策基本法制定的有关土壤污染的环境标准，以及根据土壤污染防治法制定的对策地区指定条件^①。所谓有关土壤污染的环境标准，就是旨在保护人们健康、保护生活环境，并使这种局面长期维持下去的与土壤有关的标准。但这个标准目前尚未制定出来。所谓对策地区指定条件，系指与下列地区有关的标准：其一，可以认定会生产出有损害人们健康的农畜产品的或危害农作物生长的地区；其二，可以认定上述这种可能性很大的地区。根据土壤污染防治法，指定了镉及镉化物、铜及铜化物、砷及砷化物为特定有害物质，随即制定了与特定有害物质有关的对策地区指定条件。现将对策地区指定条件的内容列出如下。

与镉及镉化物有关的对策地区指定条件，在同法施行令（昭

^①公害对策基本法的实施法就是土壤污染防治法，因此，与土壤污染有关的环境标准和对策地区的指定条件是同一个内容，这样来看待似较妥当。

和46年政令第204号)第2条第1项第1号和第2号条款中有如下的规定:

1.在该地区农用地范围内,凡能认定生产出的稻米含镉量每公斤在1毫克以上的地区者。

2.在前号地区附近的地区内,符合下列甲及乙款所列条件的地区,而且从该地区农用地生产出的稻米含镉量以及与前号地区之间的距离或者从其所在地条件来看,凡能认定在该农用地生产出的米含镉量每公斤在1毫克以上的可能性很大的地区者。

甲.该地区农用地土壤含镉量与前号地区农用地土壤含镉量相同或更多。

乙.该地区农用地的土性与前号地区农用地的土性大致相同者。

就是说,符合对策地区指定条件的是指两类地区:一是,生产出的稻米含镉量在1.0ppm以上的地区(1号地区);二是,根据与1号地区接壤,而且土壤含镉量与1号地区相同或更多,土性与1号地区大致相同,能产出含镉量1.0ppm以上的稻米的可能性很大的地区(2号地区)。

如此来确定与镉及镉化物有关的对策地区指定条件,其理由如下:

1)根据食品卫生法制定的食品、添加物等规格标准^①是,稻米(指糙米)含镉量不足1.0ppm者不在此限。

2)虽然土壤中的含镉量增加时,稻米中的含镉量也有增加的趋势,但二者的因果关系尚未弄清。

3)为避免生产出含镉1.0ppm以上的米,当前主要着眼于稻米的含镉量。所以,除应包括能生产出含镉在1.0ppm以上的稻米的地区外,还应该包括其附近的地区。这些地区土壤中的含镉

^①镉污染米的安全标准,是在昭和45年7月30日作为微量重金属调查研究报告提出的。在此基础上,于昭和45年10月15日修正了食品、添加物等的规格标准的一部分,于同月24日开始施行。

量接近1.0ppm或更多，而土性又大致相同。亦即可能生产出含镉量在1.0ppm以上的稻米的地区。

与铜及铜化物有关的对策地区的指定条件，在同法施行令第2条第1项第3号条款中，是如下规定的：

3. 凡能认定该地区内农用地（只限于稻田）每公斤土壤含铜量在125毫克以上的地区者。就是说，确定了农用地（只限水田）土壤含铜浓度在125ppm以上的地区。

如此来确定与铜及铜化物有关的对策地区指定条件，其理由如下：

1) 就当前看，应该从防止农作物等生长受危害的观点来制定铜及铜化物的对策地区指定条件。

2) 就当前看，对农作物等生长受危害完全可以肯定 是铜引起的。而且还可以用影响极大的减产来判断财产上蒙受的损失。

3) 可以看出土壤中铜含量与农作物产量之间是高度负相关，因此，在能够认定铜引起减产的时候，即根据当时的土壤中铜含量来制定指定条件的标准值。

4) 铜引起的土壤污染，主要系灌溉水的污浊所致，其危害性基本上是发生在水田。因此与铜有关的指定条件，当前要以水田为对象来制定。

5) 农作物对铜的抵抗性，是随作物种类的不同而不同。所以，与指定条件有关的标准值，要以水田的代表性农作物——水稻及后茬小麦为主体来探讨。

6) 关于指定条件的标准值问题，要根据我国由铜引起的有代表性的污染地区（群馬县渡良瀬川流域和秋田县米代川流域）土壤的含铜量与农作物的产量二者的数据为基础，用统计学方法解析二者间的关系。固然这种关系是附加了自然方面的、生物方面的以及经营方面的各种条件，然而土壤含铜量和农作物产量之间却存在着很高的负相关关系。由铜引起某些减产时的土壤中含铜量，大致是在100—150ppm（用0.1mol/LHCl提取法）的范围

内。所以和指定条件有关的标准值，必须在这一范围内制定。

7)再者，关于和指定条件有关的土壤含铜的测定位置，要以水田的水口部位为重点来确定（以水口部位测定值的2倍加上中央部位的测定值和水尾部位的测定值之和用4除之，其值为准）。

与砷及砷化物有关的对策地区的指定条件，在同法施行令第2条第1项第4号条款中，规定如下：

4.凡能认定该地区内农用地（只限于水田）土壤的含砷量在每公斤土壤15毫克以上的地区者（如果能认定该地区自然条件有特殊情况，靠此值来防止该地区内农用地的农作物生长受危害是不适宜的时候，都道府县知事可在环境厅长官认可的情况下，在每公斤土壤含砷量10毫克以上，20毫克以下的范围内规定出另一个值）。

就是说，确定农用地（只限于水田）土壤含砷浓度是在15ppm以上的地区。但是，从该地区土壤中的砷对水稻生长的危害状况看，认为特别有必要时，可以将标准值在10—20ppm范围内另行规定。并可以用此值来代替15ppm的标准值。

如此确定与砷及砷化物有关的对策地区指定条件，其理由如下：

1)砷不是植物生长的必需元素，而是危害植物生长的元素。因此，当前就应该从防止农作物生长受危害的观点出发来制定与砷有关的对策地区的指定条件。另外，在制定对策地区指定条件时，还应该从防止生产出与砷有关的、有损害人们健康的农畜产品的观点来探讨。然而，农畜产品中的砷和人类健康之间的关系，目前尚未搞清楚，因此，随着今后对此问题的深入调查研究，在制定有关砷的食品规格方面，似有必要再做进一步探讨。

2)与砷有关的农作物等生育危害，在淹水条件下显著。因此，对策地区指定条件，要以水田为对象来制定。

3)当制定对策地区指定条件之际，必须阐明土壤中砷浓度和

水稻产量之间的关系。为此，以我国有代表性的、指定为砷污染地区的岛根县津和野川流域、宫崎县五个濑川流域的有关土壤中的砷浓度以及水稻产量的调查数据为基础，通过统计学方法作了解析。从解析的结果看，土壤中砷浓度与水稻产量之间，不论哪个地区，哪个年度，都呈高度负相关关系。若据这种关系来求算水稻产量开始减少时的土壤中砷浓度，则大致等于15ppm（ mol/LHCl 提取法）。然而，由于地区不同，砷对水稻生长的危害程度也不尽相同。所以，在水稻产量开始减少时的土壤中的砷浓度，往往在10—20ppm的范围内得出不同的数值。

4) 关于测定与对策地区指定条件有关的土壤中砷浓度的方法，由于水田（圃场）内土壤中砷浓度会因水口、水尾等部位不同，而有很大出入。所以在调查地区，即确定了从该农用地面积大约2.5公顷为一个点的比例选出调查田块的水口、中央、水尾部位来采样，用 1mol/LHCl 提取法进行分析，用其平均值作为该调查圃场土壤中砷浓度的方法。

作为土壤污染方面的标准，到目前为止，已制定出与镉及镉化物、铜及铜化物和砷及砷化物有关的对策地区的指定条件。然而为了掌握土壤污染的实情，以及为了推进对策的实施，对于能构成土壤污染的其他物质，也希望指定为特定有害物质，并制定出对策地区的指定条件。

1.3 土壤污染的调查测定

土壤污染防治法有这样的规定，即都道府县知事，要对各该管辖区域内农用地土壤进行调查、测定被特定有害物质污染的实际状态，并公布其结果。土壤污染防治法施行之后，都道府县知事便自然负有义务对各该管辖区域进行调查、测定农用地土壤被特定有害物质污染的实际状态，并公布其结果。就是说，按照土壤污染防治法所采取的土壤污染的防止与消除等措施，要根据农