

# 高ホウ素濃度の培地におけるホウ素の吸収あるいは移動に 及ぼす各種要素の影響

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	山内, 益夫
巻/号	51巻2号
掲載ページ	p. 126-130
発行年月	1980年4月

# 高ホウ素濃度の培地におけるホウ素の吸収あるいは移動に及ぼす各種要素の影響

山内 益夫\*

## 1. 緒 言

これまで、培地カルシウム（以下 Ca と称す）濃度の上昇に伴い、作物によるホウ素（以下 B と称す）の吸収が抑制されることがしばしば報告されていたが<sup>1,2)</sup>、筆者は作物の B 吸収に及ぼす Ca の影響は、供試作物や培地の B 濃度レベルによって異なることを示した<sup>3)</sup>。

さらに、B の吸収に及ぼす Ca 以外の要素の影響については、培地カリ（以下 K と称す）濃度の上昇に伴い B の吸収が促進されたという結果（トマト）<sup>1)</sup> と抑制されたという結果（ダイコン）<sup>2)</sup> があり、リン（以下 P と称す）を多く与えると B の吸収が増加した（ダイコン）<sup>2)</sup> と報告されている。しかし、いくつかの作物を同時に栽培比較した研究は少なく、また、Ca 以外の要素についても供試作物や培地 B 濃度レベルが異なると B の吸収や移動に対して異なった影響を示す可能性が考えられる。

そこで、本研究では上記 Ca と B の関係の検討に用いたと同様の 8 作物（トマト、ヒマワリ、テンサイ、ダイコン、キュウリ、ダイズ、トウモロコシ、イネ）につき、カチオンとして K（Ⅰ価）、マグネシウム（Ⅱ価）、鉄（Ⅲ価）のイオン（以下 Mg, Fe と称す）、アニオンとしてリン酸イオン（大部分  $H_2PO_4^-$  と  $HPO_4^{2-}$  の混合、以下 P と称す）を用いて、これら各種要素のイオン（以下要素と称す）の B の吸収あるいは移動に及ぼす影響を Ca を用いた実験結果と併せて比較検討した。しかし、低 B 濃度培地（0.005 ppm 以下）ではいずれの要素も B の吸収・移動に対して明瞭な影響を示さなかったため、本報では高 B 濃度培地（10 ppm B）の結果についてのみ報告する。

## 2. 実験方法

培地の B 濃度変化に対してそれぞれ特徴的な反応を示す上記 8 作物<sup>3)</sup> を用い、すでに報告した方法<sup>4)</sup> に準じ育苗し、水耕栽培に移した。基本的な培養液組成および栽培法も前報<sup>4)</sup> に準じ、B 濃度は Ca 処理のダイズ（5 ppm B）を除き 10 ppm B（ホウ酸使用）とした。P, K, Ca, Mg, Fe の処理濃度段階は著しい生育抑制を伴わない範

囲で大きく取ることを目標として、低濃度区（標準区の 1/50(Fe), 1/10(P, K, Mg), 1/5(Ca) など）、標準区（第 1 表のトマトの各要素につき上から 2 列目にあたる）、高濃度 a 区（標準区の 5(Ca)~10(P, K, Mg, Fe) 倍）、同 b 区（標準区の 10 倍 (Ca), 15 倍 (K), 20 倍 (P, Mg), 25 倍 (Fe)）の 4 段階を基準とした。しかし、作物によってはそれらの濃度では生育できない場合もあり、各区の要素処理濃度の詳細は結果の項で示す（第 1 表）。また、それぞれの要素処理は P: リン酸一ナトリウム、K: KCl-K と  $K_2SO_4$ -K の等量混合液、Ca:  $CaCl_2$ -Ca と  $CaSO_4$ -Ca を 9:1 とした混合液、Mg:  $MgCl_2$ -Mg と  $MgSO_4$ -Mg の等量混合液、Fe: クエン酸第二鉄（作物栽培の途中、溶液中の Fe(II) の存在量を調べたが痕跡であり、大部分 Fe(III) で存在することが確認されている）の各塩を用いて行なった。栽培は各 2 反復とし、栽培期間は 1976~1978 年の 5~9 月で、いずれも原則として B 過剰症の発現を認めるまでとした。栽培期間中の吸水量を測定し、収穫時に常法により調査、収穫後、葉、茎、根（Fe 処理のみ茎葉と根）に分けて乾燥、秤量後粉砕して分析に供した。B は 0.5 N 塩酸抽出液につき、クルクミン比色法で、Ca は湿式分解後原子吸光法で定量した。

## 3. 結果と考察

テンサイ以外の作物において全ての処理で B 過剰症の発現が認められた。症状はすでに報告したとおりで<sup>4)</sup>、下位葉から発現し順次上位葉へ広がる。P あるいは K の処理濃度を変えてもその発現速度あるいは症状の強さに差を認める作物はなかった。一方、Ca 処理ではトマト、ヒマワリ、ダイコンで、Mg 処理ではトマト、ヒマワリ、ダイズ、トウモロコシで、また、Fe 処理ではトマト、ヒマワリで、それぞれの要素処理濃度の上昇に伴って収穫時に過剰症が発現していた最上の葉位が低くなり、症状が軽くなると観察された。しかし、標記しなかった作物では、それぞれの要素処理濃度による差はあきらかでなかった。

葉中 B 含有率（第 1 表、Fe 処理では茎葉を一括して分析したが、作物間の比較には支障をきたさないと判断されたので、他要素処理の葉の分析値と一緒にのせた）はかならずしも観察による障害の強さとは一致しなかつ

\* 鳥取大学農学部（鳥取市湖山町南 4 丁目 101）

昭和 54 年 9 月 10 日受理

日本土壤肥料学雑誌 第 51 巻 第 2 号 p. 126~130 (1980)

第1表 各種要素処理における葉の乾物重とホウ素含有率

作物名	P			K			Ca			Mg			Fe*		
	処理濃度 (ppm)	乾物重 (mg/本)	B含有率 (ppm)	処理濃度 (ppm)	乾物重 (mg/本)	B含有率 (ppm)	処理濃度 (ppm)	乾物重 (mg/本)	B含有率 (ppm)	処理濃度 (ppm)	乾物重 (mg/本)	B含有率 (ppm)	処理濃度 (ppm)	乾物重 (mg/本)	B含有率 (ppm)
トマト	1	375	205	6.5	550	545	20	2680	441	4.8	607	733	10 <sup>-2</sup>	2210	906
	10	250	294	65	810	570	100	3944	370	48	679	676	2	1890	710
	100	313	298	650	436	552	500	3013	280	480	592	390	10	1900	861
ヒマワリ	1	313	735	6.5	308	771	20	1002	1176	4.8	480	808	10 <sup>-2</sup>	1298	708
	10	288	886	65	550	832	100	975	1045	48	422	801	2	1320	805
	100	453	816	650	333	842	500	815	788	480	370	558	20	820	924
テンサイ	1	505	341	6.5	1210	670	20	3059	842	4.8	1967	426	10 <sup>-2</sup>	950	340
	10	528	404	65	1460	428	100	2207	458	48	1633	632	2	870	547
	200	524	401	975	1010	371	500	3709	383	480	783	175	20	555	477
ダイコン	1	371	538	6.5	160	781	20	834	407	4.8	171	927	10 <sup>-2</sup>	1343	603
	10	323	530	65	520	423	100	840	366	48	267	569	2	970	607
	100	604	438	650	250	498	500	1390	283	240	383	362	10	910	598
キュウリ	1	375	602	6.5	1150	692	20	259	630	4.8	1159	653	10 <sup>-2</sup>	1092	485
	10	222	540	65	1040	859	100	287	635	48	805	707	2	933	378
	100	357	555	650	1183	656	500	259	620	240	778	638	20	842	419
ダイズ	1	560	797	6.5	367	581	5	415	257	4.8	770	701	10 <sup>-2</sup>	560	920
	10	500	687	65	490	578	20	579	250	48	867	751	2	900	798
	100	480	569	650	583	638	100	816	251	480	783	622	20	720	741
トウモロコシ	1	980	124	6.5	680	287	20	474	197	4.8	1200	214	10 <sup>-2</sup>	1730	221
	10	420	200	65	880	178	100	676	160	48	1470	148	2	1800	218
	100	420	153	650	1240	209	500	591	174	480	670	212	20	3200	148
イネ	1	129	462	6.5	219	202	5	954	487	4.8	207	162	10 <sup>-2</sup>	825	488
	10	160	347	65	189	196	20	888	407	48	213	160	2	713	417
	100	142	488	650	204	170	100	1054	417	240	183	159	20	838	375
ネ	200	91	589	975	259	202	500	304	396	480	191	176	50	839	332

\* 茎葉の値を充当.

\*\* Ca 系は 5 ppm B.

た. 処理濃度の上昇に伴い葉中B含有率(以下 Fe 処理の場合は茎葉のB含有率であることを含む)が低下傾向を示したのは, P 処理ではヒマワリ, ダイコン, キウリ, ダイズ(200 ppm P 区を除く)の4作物, K 処理には該当作物なく, Ca 処理ではトマト, ヒマワリ, テンサイ, ダイコンの4作物, Mg 処理では Ca 処理と同じ4作物のほか, キウリ, ダイズを含む6作物, Fe 処理ではダイズ, イネの2作物であった. このうち, P 処理のヒマワリ, ダイコン, Mg 処理のキュウリ, ダイズは低処理濃度区の葉中B含有率は標準区のそれよりもかならずしも高くなく, また, 1000 ppm Ca 区のヒマワリの葉中B含有率は強い生育抑制の影響のためか 500 ppm Ca 区のそれより高くなったが, いずれもこのグループに含めた. 一方, 処理濃度の上昇に伴いB含有率も上昇する傾向を示した作物は P 処理のイネ, K, Fe 処理のヒマワリであった. 残り21例の葉中B含有率は要素処理濃度の上昇に伴う一定傾向の変動を示さなかった.

上記した培地の P, Ca, Mg あるいは Fe 濃度の上昇に伴う葉中B含有率の顕著な低下あるいは上昇傾向は, 乾物重の顕著な増加による希釈効果あるいは乾物重増加の抑制に強く依存すると認められる例はなく(第1表),

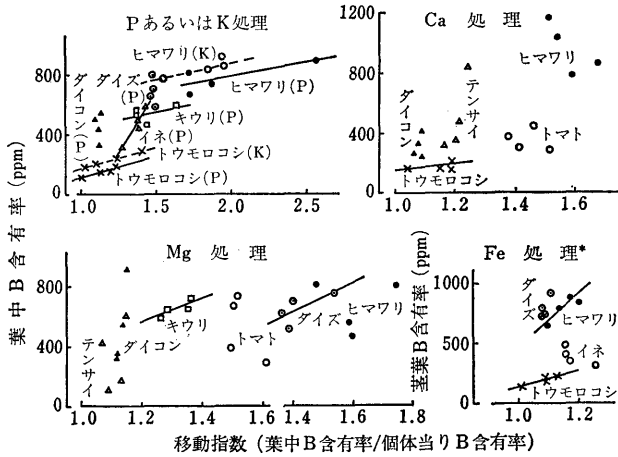
Bの葉への移動か吸収のいずれかが変動した結果と考えられる.

生育に差を生じた試料について, ある要素の移動や吸収が促進されたかあるいは抑制されたかを定量的に判定する恒定法は, まだないようである. ここではBの葉への移動の難易を判定する基準として, 葉のB含有率/個体当りのB含有率<sup>注)</sup>(以下移動指数という)の値を用い, また, B排除能<sup>9)</sup>が増加する場合に吸収が抑制されたとして以下の論を進めた.

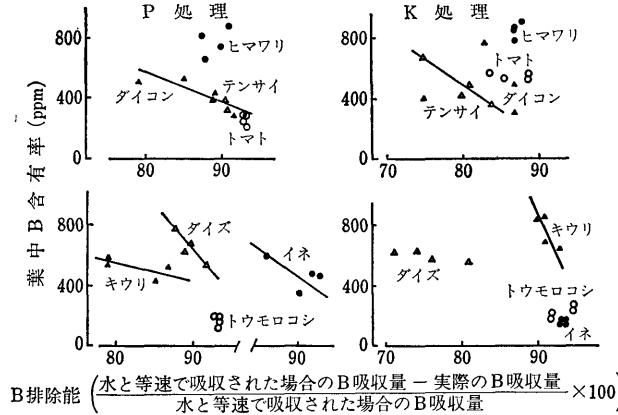
第1図に, 要素処理濃度の上昇に伴い葉中B含有率が低下あるいは上昇した例について葉中B含有率と移動指数との関係を示した. なお, P, K, Ca, Fe 処理のトウモロコシについては, 処理濃度に伴う葉中B含有率の一定傾向の変動は認められなかったが, 葉中B含有率と移動指数の間に正の相関が認められたので併記した. 葉中B含有率と移動指数との間に正の相関があり, 葉中B含有率の変動が移動の難易によって強く影響されている

注) 移行割合(葉のB含有量/個体の含有量)から個体重に対する葉重の相対的大きさの変動の影響を除いた値  

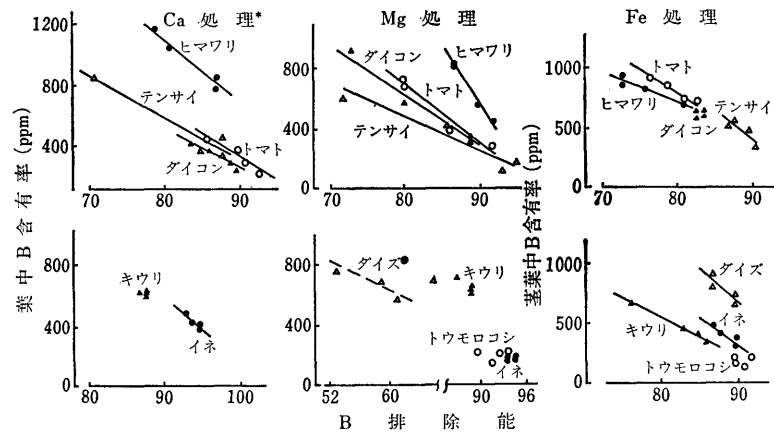
$$\left( \frac{\text{葉のB含有量/個体のB含有量}}{\text{葉の乾物重/個体の乾物重}} \right)$$
を意味する.



第1図 ホウ素の移動指数と葉中ホウ素含有率の関係  
\* 移動指数 (茎葉中B含有率/個体当たりB含有率を充当)



第2図(1) リンあるいはカリ処理下でのホウ素排除能と葉中ホウ素含有率の関係



第2図(2) カルシウム, マグネシウム, 鉄処理下でのホウ素排除能と葉中ホウ素含有率の関係

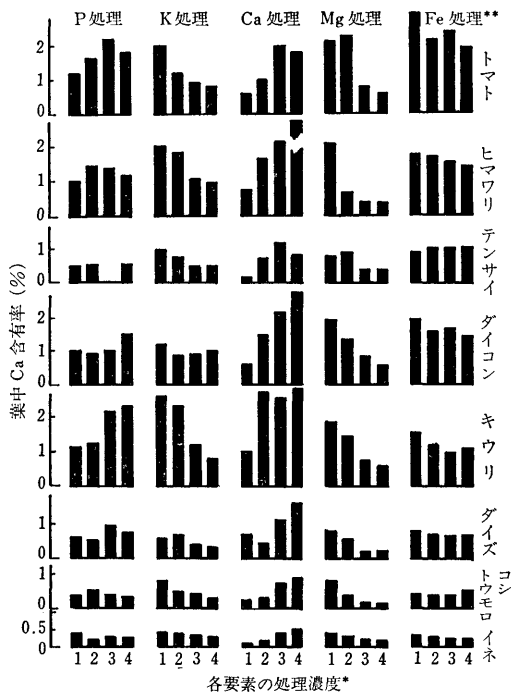
\* ダイズ, トウモロコシは吸水量の値欠のため省略。  
\* 低 Mg 処理濃度区を除いた場合。

可能性が認められたのは、要素処理濃度の上昇に伴って葉中 B 含有率が低下した 16 例 (第1表) 中、P 処理のヒマワリ、キウリ、Mg 処理のキウリ、ダイズの4例と、逆に葉中 B 含有率が上昇した P 処理のイネ、K、Fe 処理のヒマワリの3例であった。

葉中 B 含有率が要素処理濃度の上昇に伴い低下を示した作物は (第1表)、P 処理のヒマワリ、Mg 処理のキウリとダイズを除いて B 排除能と葉中 B 含有率の間に負の相関を認めた (第2図 1, 2)。ただし、Mg 処理のダイズは低 Mg 処理区を除くと高い負の相関が得られたことから、Mg 処理濃度の上昇に伴う葉中 B 含有率の低下に対して B 排除能の影響も強く働いていると判定した。また、要素処理濃度上昇に伴い葉中 B 含有率が上昇した3例のうち、K 処理のヒマワリのみが B 排除能と負の相関を示さなかった。

以上2つの結果から、要素処理濃度上昇に伴う葉中 B 含有率の低下が (16例) 移動の抑制に強く影響されたと考えられる作物は、P 処理のヒマワリ、Mg 処理のキウリの2例であることがわかる。また、葉中 B 含有率の低下が移動の抑制と B 排除能の増加の両方に依存すると考えられるのは、P 処理のキウリ、Mg 処理のダイズの2例であり、他の12例は B 排除能の増加の影響を強く受けたものと考えられる。また、要素処理濃度の上昇に伴い葉中 B 含有率も上昇をみせた3例中、K 処理のヒマワリは移動促進の影響を受け、P 処理のイネと Fe 処理のヒマワリは、移動の促進と B 排除能の低下の両方の影響を受けたものと思われる。

培地中の K あるいは P の処理濃度が高くなると Ca の吸収をさまたげ、その結果、B の吸収を促進するという考えが トマト<sup>1)</sup> やダイコン<sup>2)</sup> で示され、また、体内の Ca 含有率の上昇が B の移動をさまたげる<sup>2)</sup> などの報告がなされており、B の吸収や移動に対する Ca の関与が示唆されることが多い。第3図は8作物における各要素処理濃度



第3図 各要素の処理濃度別葉中カルシウム含有率

\* 各要素の作物別処理濃度は第1表に準ず。

\*\* 茎葉の値。

の上昇に伴う葉中 Ca 含有率の変動を示したものである。P 処理濃度の上昇に伴いトマト、ダイコン、キュウリで Ca 含有率は上昇傾向を示した。K と Mg 処理では処理濃度の上昇に伴い K 処理のダイコンを除きいずれも Ca 含有率は低下し、トマト、ヒマワリ、キュウリでその低下割合が大きかった。Ca 処理では処理濃度の上昇に伴いキュウリを除き Ca 含有率は顕著な上昇を示した。Fe 処理濃度が上昇するとトマト、ヒマワリ、ダイコン、キュウリ、ダイズ、イネで Ca 含有率は低下する傾向を示すが、いずれもその低下割合は小さかった。

これら 40 例中、葉中 Ca 含有率が上昇し葉中 B 含有率が低下傾向を示す例は (第1表)、P 処理のダイコン、キュウリ、Ca 処理のトマト、ヒマワリ、テンサイ、ダイコンの 6 例で、Ca 含有率が低下し B 含有率が上昇傾向を示すのは、K と Fe 処理のヒマワリの 2 例であり Ca、B 両含有率が処理濃度によりほとんど変動しない例は P 処理のテンサイ、Ca 処理のキュウリ (低濃度区を除く)、Fe 処理のトウモロコシの 3 例であった。そして、他の 29 例では Ca 含有率が低下あるいは上昇しても B 含有率は変動しなかったり、Ca、B 両含有率がともに低下するなど、Ca-B 間での拮抗の存在を否定する結果であった。このことから、高 B 濃度培地においても、低 B 濃度

培地の場合<sup>3)</sup>と同様、一般論として B の吸収や移動に対してとくに Ca が制限となるとはいえないものと思われる。

また、葉中 B 含有率の変動に及ぼす要素処理濃度の影響には、各要素により個々の種間差があり、B の吸収・移動に対して使用要素の電荷の違いが意味のある影響を及ぼしているか否かを判定することは困難であった。

低 B 濃度培地では上記 8 作物 5 要素いずれの組み合わせにおいても、葉中 B 含有率に及ぼす要素処理濃度の影響は明瞭でなかった (Ca 以外未発表)。これに対して高 B 濃度培地では作物-要素の組み合わせによっては、葉中 B 含有率が要素処理濃度の顕著な影響をうける例がかなりあり (40 例中 19 例)、その大部分は B 排除能に対する影響を通してあらわれることを示した。このことは、B の積極的吸収が行なわれる場面では、他の要素の関与は小さく、高 B 濃度培地において B の積極的排除<sup>3)</sup>が行なわれる場面に他の要素の関与するところがあることを示している。そして、本実験の範囲では、B 排除能に対する要素処理濃度の影響を統一的に把握することが困難であることから、B 排除能は強い影響力を有する複数の因子からなり立っており、その主要因に種間差があり、このことが B 排除能の要素に対する反応の種間差となつてあらわれているものと思われる。したがって、さらに多くの作物を用いて類似反応をするグループの作物数をふやすことにより、B 排除能に変動を引きおこす外的条件を整理するなど、その種間差の原因究明にはいっそうの研究が必要と思われる。

### 要 約

トマト、ヒマワリ、テンサイ、ダイコン、キュウリ、ダイズ、トウモロコシ、イネの 8 作物を用い、培地中の P、K、Ca、Mg、Fe 濃度を 4 段階に変えた場合の高 B 濃度培地 (10 ppm B) における B の吸収あるいは移動に及ぼす影響を検討した。得られた結果の要約は以下のとおりである。

1) 要素の処理濃度の上昇に伴い葉中 B 含有率が低下する傾向を示した作物は、

P 処理：ヒマワリ、ダイコン、キュウリ、ダイズ

K 処理：なし

Ca 処理：トマト、ヒマワリ、テンサイ、ダイコン

Mg 処理：トマト、ヒマワリ、テンサイ、ダイコン、  
キュウリ、ダイズ

Fe 処理：ダイズ、イネ

であった。逆に B 含有率が上昇する傾向を示した作物は P 処理のイネと K および Fe 処理のヒマワリであった。

2) 要素処理濃度の上昇に伴う葉中 B 含有率の低下が、移動の抑制に強く依存したと考えられる例は、P 処理のヒマワリとキウリ (排除能増加の影響もある)、Mg 処理のキウリとダイズ (排除能増加の影響もある)、と少なく、これ以外の 12 例では B 排除能の増加に強く依存したと考えられる。一方、要素処理濃度上昇に伴い葉中 B 含有率も上昇する 3 例は、いずれも移動促進の影響を受けている可能性が強く、また、P 処理のイネと Fe 処理のヒマワリは、B 排除能抑制の影響も受けていたと考えられる。

3) Ca 以外の要素の B の吸収・移動に及ぼす影響は、Ca の吸収に対するそれら要素の相互作用の結果をとおして現われるという関連の仕方ではないことを指摘した。

謝 辞 本論文のご校閲をいただき、有益なご助言をいただいた長井教授に感謝いたします。

#### 文 献

- 1) REEVE, E. and SHIVE, J. W. : Potassium-Boron and Calcium-Boron Relationships in Plant Nutrition. *Soil Sci.*, 57, 1~14 (1944)
- 2) TANAKA, H. : Boron Absorption by Crop Plants as Affected by Other Nutrients of the Medium. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 13, 41~44 (1967)
- 3) 山内益夫 : ホウ素に関する作物栄養学的研究, 鳥大農研報, XXXI, 37~91 (1979)
- 4) 山内益夫 : ホウ素適応性の作物種間差, 土肥誌, 47, 281~286 (1976)
- 5) 田中 明 : 水稻根のイオンの積極的排除について, 同上, 41, 457~460 (1970)

#### 書 評

### 土壌汚染の機構と解析

——環境科学特論——

渋谷政夫 編著

A 5 版, 317 pp., 3100 円

産業図書株式会社, 1979 年 10 月刊

ここ 10 年以上もわが国の土壌汚染の研究, 調査の第一線で活躍している人々が, そのうちを傾けて書かれたものである。また土壌研究者ばかりでなく, 行政, 地球化学, 植物栄養, 放射能関係の側からも執筆をえていることは本書の価値をさらに高くしている。

内容は次の 12 章から成る。

1. 銅・鉛・亜鉛製錬工場等による土壌汚染の実態解析 (山田 要) p. 1~37
2. 島根県におけるヒ素汚染の実態と対策 (山根忠昭) p. 38~71
3. 神通川流域におけるカドミウム汚染の実態と対策 (円野 貢) p. 72~78
4. 福島県下におけるカドミウム汚染の実態と対策 (館川 洋) p. 79~99
5. クロムによる土壌汚染 (蛭木 翠) p. 100~128
6. 土壌汚染の現状と対策 (吉池昭夫) p. 129~160
7. 土壌中の重金属元素の動き—主として土壌化学的見地から— (飯村康二) p. 161~195
8. 重金属元素による土壌汚染—汚染源 (大気・水), 汚染経路— (増島 博) p. 196~207
9. 水田におけるカドミウムの自然負荷と人為負荷 (山根 登) p. 208~227

10. 重金属と植物 (茅野充男) p. 228~261
11. わが国の水田土壌における重金属の分布 (渋谷政夫) p. 262~275
12. 土壌・作物体中の放射性物質の汚染とその動き (小林宏信) p. 276~317

内容は執筆者によってかなり異なっているが, 今までの状況や現情を知るには大変役に立つ本である。評者にとってははじめてまとまった形で読んだ章もあり, 大変面白かった。しかし, 章によっては記事が適正でないため内容の把握が困難な部分があり, この点は編者の指導性がのぞまれる。

土壌汚染の報告をよんでいつも感じることであるが, 数字を扱いながら total の値か 0.1 N HCl 可溶の値かの記述のないものが多いことである。身内だけの話ならこれでも通用できようが, 他の人にはわからない。またこれらの数値が他の分野の人々に引用されたときには total か他の方法のものかの区別なしに数字だけが引用されている。また玄米か白米かの区別なしに米という言葉が使われている。著書, 論文, 報告となるときにはもはや身内だけのものではなく, 公共性をもってくるから, 表現ことに数字のとり扱いには最低の注意を心がけてほしい。ある章の執筆者のように表や図の註に, HClO<sub>4</sub>-法とか Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 溶融法とか 0.1 N HCl 法とか, 記すような習慣を確立してもらいたいものである。

いずれにしても第一線の研究者の執筆であるだけに, 今後, 土壌汚染関係の論文, 報告, 著書を書く人はまず読んでいただきたい本である。

(東京農工大学農学部 山根一郎)