

土壌中の無機イオンの行動と環境保全的土壌区分への

誌名	農業技術
ISSN	03888479
著者	古畑, 哲 井上, 隆弘 阿部, 和雄
巻/号	32巻8号
掲載ページ	p. 344-348
発行年月	1977年8月

土壌中の無機イオンの行動と環境保全的土壌区分への展望⁽¹⁾

古畑 哲 井上隆弘 阿部和雄

まえがき

農耕地において、施用した化学肥料や有機質資材に含まれるある種の成分が、陸水の富栄養化現象に及ぼす影響について検討した試験研究が最近数多く行なわれつつある。

富栄養化に関連する成分として、有機質資材に由来する成分は原料の種類や処理によって多種多様であるが、化学肥料に由来する成分は窒素とリン酸が主として対象になる。しかしこれまでの施肥法確立の観点より肥料成分の行動を追跡した研究成果からは、通常、リン酸は土壌からの流出はきわめて少ないとみられる。カリウムはその行動が NH_4^+ と似ているが、 NH_4^+ と違ってその形態が変らないので、 NH_4^+ の行動を知る目的で利用することができる。またカルシウムの動きは土壌の酸性化に関して重要である。けれどもカルシウムは富栄養化に関してはさして問題にならないとみられる。

窒素の行動が化学肥料の中では、もっとも富栄養化に関係する可能性が高いという点で調査が行なわれている。その結果も通常の施用量程度では、肥料窒素が陸水の富栄養化を招いているとは、ほとんど考えられないようである。

ここで注意しなければならないことは、土壌は環境保全上障害となる物質を浄化する能力があるとして過大評価される点である。個々の土壌によって、そうした能力は当然異なり、また自ずと限界がある。したがって、各種土壌について、物質の吸着溶脱特性、分解能を知り、土壌の側から、受容の限度を明確にしておくことが必要であろう。

最近農地における土壌肥沃度を改善して、作物生産を向上させるために、有機物資材の活用として、家畜糞尿をはじめとする各種産業廃棄物を圃場へ投入する傾向がとみに増大しつつある。確かに有機質資材の作物生産へ与える効果は期待もたれるが、しかし限られた面積の圃場に対し、資材を過剰量あるいは高い頻度で投入したことによって、資材のある成分は土壌から系外へ流出し、環境汚染の要因になることも十分に懸念される。

成分の移動性の程度はもとより、気象、植生、土地利用、地表面あるいは地中を通しての流出水量、有機質材の種類や量、分解状況、揮発現象、吸着現象などの各種

条件によって大きく異なる。これら個々の条件についても解明を要する問題が多いが、ここでは単純に土壌における成分の移動性を示す一つの指標として、無機イオンに着目し、無機イオンの移動性の土壌の理化学的性質との関連、土壌の種類による差異について明らかにしようとした。産業廃棄物の各種成分の土壌中における移動性では、 H_2PO_4^- イオンなどの一部を除く無機イオンは有機質成分よりも概して移動しやすい。その中でとくに NO_3^- や Cl^- などの吸着性の少ない陰イオンは移動性が高い。また陽イオンは NO_3^- や Cl^- よりも移動性は低い、陽イオンの中では原子価数の少ないものが高いいものよりも移動性が高い傾向がある¹⁾。

これらの吸着、溶脱を支配する土壌要因とその法則性を明確にすることによって、各種土壌におけるイオンの移動性の大小を推測しようとみられる。それとともにさきにあげた気象、地形などの諸条件と重ね合わせることによって、産業廃棄物の土壌系からの流出が環境保全の上から問題にされるか否かを判定することが可能になると考えられる。

ところで最近では環境保全の立場にたった、またはこの立場を考慮に入れた試験研究が数多く行なわれている。これらの内外の既往の成果および実施中の研究成績について報告ないし引用紹介されている^{2),3),4),5),6),7)}。

しかしながら、土壌の性質や種類の違いを考慮してまとめられたものではないので、筆者らはとくに土壌を強調した見地から無機イオンの吸着溶脱現象について述べてみようと思う。

- 1) 原田登五郎、久津那浩三 (1960) : 土壌における塩基の行動, 農研報, B10, 37~79,
- 2) 早瀬達郎 (1973) : 肥料と環境保全, 化学工業, 24, 325~339.
- 3) 早瀬達郎, 越野正義, 田中房江 (1974) : 無機質肥料の多用に伴う生態系の変動に関する実態解析 第1報 文献調査解析 農技研肥料化学科資料第174号
- 4) 農林省農林水産技術会議 (1973~) : 農林水産生態系における汚染物質の循環と指標生物に関する研究 推進会議資料
- 5) 農林省農林水産技術会議 (1974~) : 農林漁業における環境保全技術に関する総合研究 推進会議資料
- 6) 農林省農政局農産課 (1969) : 水蝕と風蝕 地力保全対策資料第27号
- 7) 谷田沢道彦編 (1976) : 肥料による陸水の汚濁と指標植物 文部省特定研究

1. 各種土壌における無機イオンの吸着特性

土壌コロイドは、イオンの吸着・保持において、土壌溶液との間にイオン交換・吸着平衡を維持しながら溶液のイオン組成・濃度を規制しているため、イオンの溶脱・流出に対してきわめて重要な役割を演じていることになる。土壌コロイド粒子のイオン吸着特性は、たとえばモンモリロナイト質であるとかアロフェン質であるといったようなコロイドの種類によってきわめて多種多様であり、さらに土壌コロイド組成は土壌の種類をある程度決定する。したがって、各種土壌による無機イオンの吸着特性を明らかにするためには、各種の土壌コロイドと個々のイオンとの間にみられる反応の特徴をはっきりさせておく必要がある。

ところで、無機イオンの土壌中の動きに関しては、古くから肥料成分の移動として圃場試験、ライシメータ試験、室内モデル実験などの各レベルで多くの研究がつけられており、その数は枚挙にいとまがない³⁾。しかしながら、無機イオンの土壌による吸着保持能力、土壌からの流出の可能性またはそれらを支配する要因が、土壌の種類によってどのように異なっているかについての系統的な研究はあまりなされていないようである。最近環境保全の観点から肥料成分の土壌中での行動、とくに肥料成分の流出に関して興味深いデータが徐々に蓄積しつつある。第1表は水田における肥料成分流出の一例とし

第1表 水田における施肥成分の地下流出
(谷田沢⁷⁾より作成)

土 壌	施 肥 量 (kg/10 a)			地下流出率(%)			年次	場 所
	N	P	K	N	P	K		
細粒グライト	6.5	8.1	7.6	2.7	0.2	9.4	1973	愛知農試
灰色低地土	11.7	5.4	—	7	0.6	—	1972	滋賀農試
	13.4	4.0	8.6	3	0.6	13	1973	
	13.3	5.0	6.7	5	0.5	24	1974	
黒ぼくグライト	6.9	9.6	—	5.3	0.04	—	1974	茨城大
	14.1	6.7	—	2.7	0.2	—	1975	
多湿黒ぼく土	6.8	—	—	7.5	—	—	1973	茨城大

て、ごく最近の圃場試験の成績から、土壌種別の施肥分量に対する地下流出率を抜粋したものである。いうまでもなく、この種の圃場試験の結果を相互に比較検討しようとするときにまず念頭に入れておかなければならないことは、それぞれの試験における気象条件の年次別変動、施肥設計、水管理などの違いが、肥料成分の地下流出量、作物による養分吸収量にきわめて大きな影響をおよぼしていることである。しかしながら、このような

無機イオンの挙動に影響する土壌外的要因とは別に、土壌自体のもつ潜在的な能力を明らかにしておく必要がある。すなわち、現在まで蓄積されてきた、土壌中における無機イオンの挙動に関する基礎的知見を土壌コロイドとの反応、土壌溶液の移動状態、土壌微生物作用との関係で整理してはじめて、第1表にあげたデータを検討し土壌種間のイオンの移動特性を推定することが可能となる。ここではその第一段階として、土壌コロイドがイオンの吸着保持にどの程度の役割を演じているかを明らかにすることを目的として、 NH_4^+ 、 K^+ 、 NO_3^- 、 H_2PO_4^- イオンと土壌コロイドとの吸着反応を中心に考察を試みることにする。

土壌によるイオンの吸着保持現象は、土壌をイオン交換体とみることにより、うまく説明することができる。そしてこのイオン吸着能は大部分が土壌の粘土部分に起因していることが知られている。たとえば、Kolenbrander⁸⁾は、粘土含量の増加に伴ない畑での窒素溶脱量が減少し、粘土含量30~40%以上では窒素をかなり施用してもほとんど溶脱がみられないとしている。これには粘土含量の増加に伴う透水量の変化、微生物による窒素成分の形態変化(たとえば、有機化、脱窒など)の影響も考えられるが、粘土によるイオン吸着能の増大が窒素溶脱量の減少に大きく効いていると考えてよい。

イオン吸着量は、土壌コロイドの量ばかりでなく、その種類によって大きく異なる。主な土壌コロイドの陽イオン交換容量(CEC, me/100g)は、

カオリナイト	3~15	クロライト	10~40
メタハロイサイト	5~10	ギブサイト	0
ハロイサイト	20~30	ライモナイト	0
イライト	10~40	アロフェン	15~40
パーミキュライト	100~150	腐植	100~250
モンモリロナイト	70~100		

となる。コロイドの種類によるCECの違いは、主として、比表面積および陰荷電密度の差異に起因するといわれている。これらのコロイドのCECに対して、遊離の加水酸化鉄・アルミニウムも大きく影響し、とくに膨張性2:1型粘土鉱物層間アルミニウムはCECをかなり減少させる。土壌コロイドの陽イオン吸着保持力はコロイドとイオン間の結合機作で決まる。大別すると、静電的吸着、すなわちコロイドの陰荷電によるものと、非静電的吸着とがある。後者は分子間引力による吸着で、イオンとしてではなく塩類のまま弱く吸着し、土壌溶液

8) FAO-SIDA (1972): Effects of Intensive Fertilizer Use on the Human Environment, FAO Soil Bull. No. 16.

が高塩類溶液の場合にのみ問題となる。一方土壌コロイドの陰荷電は、①粘土鉱物の同像置換によるもの、②粘土の水酸基の解離によるもの、③カルボキシル基などの解離に原因するもの、に分けられる。同像置換による陰荷電は pH の影響をまったくうけない強酸性的な荷電であり、永久荷電と呼ばれる。②③による陰荷電は、粘土鉱物結晶格子末端の $-SiOH$ 、 $-AlOH$ 、および腐植のカルボキシル基、フェノール基からのプロトンの解離にもとづくものである。粘土鉱物および腐植の種類によりそれぞれの解離反応の pK は異なるが概して弱酸性的な荷電であり pH 依存性陰荷電といわれる。これらの吸着基の特性およびその分別定量法については、Schofield, Coleman, Fiskell, 吉田, 永田らによって詳しく研究されている⁹⁾。これらは、土壌コロイドの陽イオン保持能を評価する一手段として、吸着基の酸性的性格の強弱を評価したものといえる。代表的粘土鉱物の陽イオン吸着基について吉田^{10),11)}による測定例を第2表に示す。これによると、モン

モリロナイト、カオリナイト、ハロイサイトは主として強酸性的吸着基を、アロフェン、イモゴライトはすべて弱酸性的吸着基をもつとされている。腐植、2:1型粘土鉱物の層間アルミニウム、遊離加水酸化鉄・アルミニウムは弱酸性的吸着基量に寄与しているという見解も出されている。土壌コロイドに吸着されている陽イオン (NH_4^+ , K^+) の溶脱・流出は、まず、これら陽イオンの土壌溶液への放出にはじまる。これには、浸透水中の炭酸の解離にもとづく H_3O^+ イオンと吸着陽イオンとの交換平衡が必要な意味

をもち、とくに弱酸性的吸着基では、 H_3O^+ イオンのとり込みによる陽イオン放出が顕著に進行する。この反応は、アロフェン質土壌における塩基の溶脱現象として知られているが、他の弱酸性的吸着基を有する土壌コロイドよりなる土壌でも、程度に差はあるが、当然進行する反応である。換言すれば、弱酸性的吸着基の絶対量および全吸着基に対する割合が土壌の陽イオン吸着保持能を表わすものといえる。各種粘土鉱物からなる土壌の陽イオン吸着基特性についての阿部ら⁹⁾による測定例を第3表にあげておく。土壌種別吸着基の特性は測定法により多少異なるが、どの測定法を使っても、第2表に示した粘土鉱物の吸着基特性をよく反映しており、強酸性的吸着基の割合はモンモリロナイト質土壌 > モンモリロナイトを含む土壌 > その他の結晶性粘土鉱物からなる土壌 > アロフェン質土壌の順となる。

原田¹²⁾は、土壌中の各種塩基の行動とこれを支配する要因についての一連の研究のなかで、土壌コロイド種にもとづく塩基の交換、吸着、溶出の難易を推定している。これによると、塩基不飽和土壌の NH_4^+ , K^+ の交換浸入力順位は、モンモリロナイト質土壌 > カオリン・イライト・パーミキュライト質土壌 > アロフェン質土壌 > 腐植質アロフェン質土、となり、土壌からの K^+ , NH_4^+ の溶脱の順位はこの逆の順となる。

土壌コロイドの塩基吸着容量におよぼす要因については、前述の平衡溶液の pH のほかに、飽和陽イオン種、平衡溶液のイオン濃度、温度などが知られている。これ

第2表 粘土鉱物の陽イオン吸着基の酸性的性格^{10),11)} (me/100g)

粘土鉱物	CEC	酸性的性格	
		強酸性的	弱酸性的
モンモリロナイト	73	63	10
ハロイサイト	24	18	6
カオリナイト	4.9	3.8	1.9
アロフェン	60.8	0	60.8
イモゴライト	15.4	0	15.4

第3表 過酸化水素処理土壌の陽イオン吸着特性⁹⁾

土 壤	粘土鉱物	Fiskell 法		吉 田 法		永 田 法		
		pH 依存電荷	pH 8.2 荷電に対する割合	弱 酸 的	全吸着基に対する割合	pH 依存電荷	全荷電に対する割合	
								me/100g
新 潟 十 三 山 福	潟	Mt >> Kn, It	11.2	30	5.0	9	11.5	32
	山	Kn, Al-Vt, It	8.9	50	6.3	44	8.8	50
	十	A, Im	73.3	93	71.5	94	75.0	96
	三	Mt > Kn, Vt	7.2	33	5.3	26	—	—
	山	Kn, Vt > It	8.9	33	—	—	—	—
福	井	Ch, Al-Vt, A	13.9	75	8.0	58	—	—
粘 土	ベントナイト	Mt	14.5	15	5.4	27	13.9	15
	木節粘土	Kt	6.4	36	3.2	28	5.2	33

注) A: アロフェン, H.H: 加水ハロイサイト, Im: イモゴライト, Int: 2:1~2:1:1 中間鉱物, It: イライト, Kt: カオリナイト, M.H: メタハロイサイト, Mt: モンモリロナイト, Vt: パーミキュライト, Al-Vt: Al パーミキュライト, Kn: カオリン鉱物, Ch: クロライト, Humus: 腐植

9) 阿部和雄, 荒明正倫 (1975): 水田土壌の粘土鉱物組成とその土壌分類への適用, 農研報, B27, 61~127
 10) 吉田稔 (1970): モンモリロナイト および ハロイサイトの酸性的性格 土肥誌 41, 483.

11) 吉田稔 (1971): カオリナイト, アロフェン および イモゴライトの酸性的性格 土肥誌 42, 329.
 12) Harada, T. (1961): Behavior of NH_4^+ and K^+ in the Soil. Potassium-Symposium, Sendai, 1~27.

らは、和田、原田らのCEC測定についての一連の研究^{13,14,15)}のなかにみられる。とくに、温度による影響についてみると、アロフェン・イモゴライト系の土壌で、第4表に示すように、温度の増加によるCECの増加が著しいことが指摘されている¹⁵⁾。これは、現実の圃場での陽イオン吸着現象を考察するうえで、注目に値する。

一方、土壌コロイドの塩基交換反応については、イオン交換平衡、コロイド界面特性、粘土鉱物の結晶構造が理論的に明らかになるにつれて、一層明らかになってきた。ここで、 H_3O^+ を含めた一価の陽イオンの土壌コロイドの吸着保持力を評価する方法の一例を挙げる。いま、陰性コロイドが一価の陽イオンA、Bと溶液中で平衡にあれば、

$$K_A^B = \frac{[B_R][A_S]}{[A_R][B_S]}$$

第4表 CECにおよぼす温度の影響¹⁵⁾

試料	主要粘土鉱物	CEC me/100g		CEC比 (10~20°C/ 50~60°C)
		10~20°C	50~60°C	
神殿原表土	Humus>>A>Im	31	62	0.50
長陽表土	Humus>>A	17	28	0.59
神殿原下層土	A>Im, Humus	4	12	0.36
長陽下層土	A>Humus>Im	9	19	0.50
長陽風化浮石	A	25	51	0.50
API No. 9	Kt	2	4	0.62
夜明ハロイサイト	H. H	10	13	0.75
大浦下層土	M. H>Vt	8	11	0.73
高師原下層土	Kt, Int	8	11	0.75
名島下層土	Mt>M. H	23	26	0.90
中条下層土	Mt>It	33	36	0.93
ベントナイト	Mt	89	90	0.99

注) 粘土鉱物の略号は第3表と同じ

第5表 1価陽イオン-粘土系の選択吸着定数(K)

陽イオンM ⁺	粘土鉱物				
	カオリナイト	モンモリロナイト	バイデライト		白雲母
	K _{NH₄⁺} ^{M+}	K _{NH₄⁺} ^{M+}	K _{NH₄⁺} ^{M+}	K _{H₃O⁺} ^{M+}	K _{NH₄⁺} ^{M+}
H ₃ O ⁺	0.49	1.29	3.16	—	4.08
Li ⁺	0.19	0.25	0.18	0.01	0.05
Na ⁺	0.23	0.28	0.30	0.00	0.06
K ⁺	0.87	0.67	1.11	0.03	0.64
NH ₄ ⁺	—	—	—	—	—
Rb ⁺	2.16	2.58	2.80	0.15	0.51
Cs ⁺	3.30	5.05	4.86	0.43	0.59

なるドンナン平衡が成立する。ここで、

K_A^B : イオンの活量係数を含んだ平衡定数

$[A_R], [B_R]$: コロイド電気二重層内のA, B両イオンの濃度

$[A_S], [B_S]$: 外溶液のA, Bイオンの濃度

ここで、 $[A_S]=[B_S]$ の実験条件で、 $[A_R], [B_R]$ の大小を比較することは、A, B両イオンのコロイドへの吸着量の大小をみることを意味する。したがって、 K_A^B はA, B両イオンに対する選択吸着定数といわれる。 K_A^B の値が1より大きければAよりBを、小さければBよりAを選択的に吸着することになる。ただ、 $[A_R], [B_R]$ を実験的に求めることは一般には困難で、また、A, Bどちらかのイオンの測定が複雑な場合があるので、実験的には、

$$K_A^B = \frac{x_{BR}}{1-x_{BR}} \cdot \frac{1-x_{BS}}{x_{BS}}$$

の式で求められる。ここで

x_{BR} : Bイオン飽和度(吸着Bイオン量/CEC)

x_{BS} : 外液のBイオンの濃度分率($[B_S]/[B_S]+[A_S]$)

数種の粘土鉱物における1価陽イオン間の選択吸着定数(K_A^B)を第5表に示す。この表から $K_{NH_4^+}^{K^+}$ ほどの粘土鉱物においても比較的1に近く、 K^+ イオンと NH_4^+ イオンが土壌中で比較的類似の行動をすることを裏付けている。また、 H_3O^+ イオンに対する選択吸着性は粘土鉱物によって大きく異なり、カオリナイト、モンモリロナイト、バイデライト、白雲母の順となっている。腐植酸、アロフェン等についての K_A^B 値は、ここに挙げられていないが、当然、 H_3O^+ に対する選択性がきわめて大きいものと考えられている。

以上、各種コロイドに対する陽イオンの吸着保持能を吸着容量、吸着保持力、選択吸着の側面から考察してきた。現実の土壌では、コロイドをとりまく溶液の塩基濃度、pHなどが刻々と変化し、反応の平衡時間とのかかわりできわめて複雑な様相を

- 13) Harada, Y. and Inoko, A. (1975): Cation Exchange Properties of Soil Organic Matter, Soil Sci, Plant Nutr, 21, 361.
14) Wada, K. and Harada, Y. (1969): Effects of Salt Concentration and Cation Species on the Measured

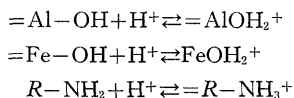
Cation Exchange Capacity of Soils and Clays. Proc. Int. Clay Conf., Vol. 1, 561.

- 15) Wada, K. and Harada, Y. (1971): Effects of Temperature on the Measured CEC of Ando Soils, J. Soil Sci., 22, 109.

呈している。さらに、土壌中の酸化還元電位の変化も、pH、 Fe^{2+} イオン濃度の変化をとおして、コロイド—溶液系の反応に影響をおよぼす。しかしながら、このような複雑な問題についての系統的な研究はあまりなされていないようであり、今後の問題として残されている。

∞

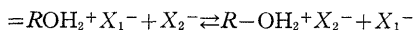
土壌コロイドには陰イオン吸着基が存在し、陰イオン (NO_3^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^- , など) の移動に対して重要な役割を果たしている。モンモリロナイト、カオリナイトなどの結晶性粘土鉱物は全体として陰性コロイドとして作用するが、結晶の破壊原子面には、陰荷電とともに少量の陽荷電が存在する。アロフェン、加水酸化鉄・アルミニウム、腐植も土壌の反応によっては陽荷電を生ずる。これは、



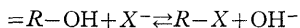
などとして一般に示されている。

陰イオン吸着反応は、①陰イオン交換反応、②化学的吸着反応の2つに分けて論じられている。

陰イオン交換反応は NO_3^- 、 Cl^- イオンが主にこれに関与し、



で表わされる。また、化学吸着による反応に関与する代表的なイオンは H_2PO_4^- イオンであり、



で表わされる。

陰イオン交換反応においては、土壌コロイド陽荷電は pH の低下に伴ない増加するので、 Cl^- 、 NO_3^- の吸着量は増加するが、土壌溶液 Cl^- 、 NO_3^- イオン濃度が減少すると、容易に溶液中の OH^- イオンと交換し、土壌溶液をとおして移動する。

一方、多くの土壌では、土壌コロイドは全体として陰荷電を帯びているので、コロイド近辺の陰イオン濃度が土壌溶液中の陰イオン濃度より低くなる、すなわち負吸着の現象がみられる。そしてこれは、コロイドの酸的性格が強い土壌、たとえばモンモリロナイト質土壌などで、この傾向がより著しい。佐久間¹⁶⁾は、カラムにおける Cl^- イオンの移動を詳細に検討し、鉱質土壌において微細孔隙からの Cl^- の排除により、 Cl^- の下降速度が水の移動より速くなることを確かめている。

土壌中のリン酸イオンの吸着は粘土鉱物の結晶格子末

16) 佐久間敏雄, 飯塚文男, 岡島秀夫 (1975): 畑土壌における水分と無機塩類の挙動 第1報 カラム中の水と塩素イオンの移動 土壤誌, 46, 126.

端の陰イオン OH^- と H_2PO_4^- との交換反応, および土壌中にかなり多量に存在する多価陽イオン (Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+}) との間の化学反応に由来するとされている。すなわち、中性付近においては、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ と反応し難溶性の $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ を生ずる。pH が6以下になると、 Ca^{2+} 量は著しく減少するがそれに伴い Al, Fe が活性化し、さらに土壌粒子の被膜をなす褐鉄鉱などと反応し、きわめて難溶性のバリサイト [$\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)(\text{OH})_2$] またはストレングス石 [$\text{Fe}(\text{OH})_2\text{H}_2\text{PO}_4$] を生ずる。アロフェン、ハロイサイトはリン酸と特異的に吸着し、タラナカイト様鉱物、ハロイサイト—リン酸層間複合体を生ずることも知られている¹⁷⁾。このようにして生成したリン酸化合物は、通常の土壌反応条件ではきわめて安定であり、これはいわゆるリン酸固定として広く知られている。したがって、土壌中のリン酸イオンの溶脱・地下流出は、とくに土壌が砂質でないかぎりほとんどない。アロフェン質土壌では反応に関与する $\text{Al}-\text{OH}$ がきわめて多いため、リン酸イオンの溶脱は全くないと考えてもよい。土壌に加えられたリン酸イオンの一部は、有機リン化合物として安定化することも知られる。

以上述べてきた各種土壌コロイドとの間の相互作用は、あくまでもその反応が水をとおして進行するので、土壌を浸透する水の移動パターンにきわめて大きく影響することはいうまでもない。(つづく)

(農業技術研究所化学部土壌第3科)

17) Wada, K. (1959): Reaction of Phosphate with Allophane and Halloysite, Soil Sci., 87, 325.

農学博士 山田 登著 (第7版)

作物のケミカルコントロール

——生長と発育の化学的制御——

A 5判 本文264頁 上製 定価1,600円+200円

本書は農・園芸作物、林木、牧草その他を材料とする数多くの研究成果をとらえ、種子の発芽休眠、草丈・分けつなどの生長、出穂・開花、登熟現象や老化現象、耐熱性・耐乾性などの生態的特性、生産物の品質・鮮度維持などの化学的制御について、何をねらいとし、いかなる化学的物質を用いて、いかなる濃度・方法で実施すべきかを、その作用機作との関連において、広範な多数の研究業績を紹介しつつその全貌を明かにした。

序説/第1章 高等植物の相互利用/第2章 種子の発芽と物質/第3章 生長とオーキシン/第4章 生長抑制物質/第5章 ジベレリン/第6章 脱葉と乾燥/第7章 生態的特性の制御/第8章 花成と物質/第9章 カイネンチ