

引用文献

- 1). 早稲田収ほか；非皆伐施業に関する研究資料，1975，1. 林業試験場。
- 2). ———，齊藤勝郎；庇陰条件とスギ稚樹の反応，1975，10. 日林関西支講。
- 3). ———，—————；庇陰条件とヒノキ稚樹の反応，1975，10. 日林関西支講。

除草剤の水田における挙動と除草活性

日産化学工業株式会社生物化学研究所 河村雄司

1. ま え が き

圃場における除草剤の効果や葉害の変動要因はいろいろあるが，土壤処理型除草剤にとっては土壤そのものが最大の変動要因であると言える。土壤のちがいによる活性の変化は，吸着と分解によるところが大きい。分解による不活性化は主として微生物によると考えられるが，これにはまた，さまざまな要因がからんでいる。

土壤吸着については，古くから膨大な研究成果が報告されており，数多くの除草剤について吸着の機構や，生物活性との関係が論じられている。多種類の土壤を供試して，吸着と生物活性の相関を調べた大部分の研究において，両者の間に高い相関が認められている。そして，例外はもちろんあるが，吸着は有機物および粘土含量のいずれか，あるいは双方と相関のある場合が多い。ところが，一口に有機物，粘土と言ってもその内容は複雑である。有機物あるいは粘土鉱物の種類によって吸着能に著しい差があるため，同一除草剤の吸着との相関を，単なる含量だけで調べると相反する結論となる例も少なくない。

吸着と活性との間には相関が認められるとし

ても，吸着は，吸着基質のちがい以外にも多くの要因によって変動する現象であり，そのほかにも除草剤の活性に影響する要因は無数に存在する。圃場では，これらの要因が複雑に関連し合って除草剤の機能が発揮される。

除草剤の吸着については，わが国においても，最近，鋤塚らが土壤残留および生理活性の面から，除草剤の土壤中の挙動に関する内外の文献を紹介するとともに，いくつかの総説を出し，その中で詳しく論じられているので，これらを参照していただきたい^(1~4)。総説の中で鋤塚が指摘しているように，水田における除草剤の挙動については，わが国以外ではほとんど研究されていないので，畑除草剤に比べ，まだまだ不明な点が多い。

近年，農薬の安全性や環境汚染問題が重視されるようになり，また，昭和46年の農薬取締法の改正により，すべての農薬について，作物と土壤中の残留と消長を明らかにすることが義務づけられたこともあって，この種の研究成果が相ついで発表されるようになった。ただ登録農薬全般から見れば，公表されたものはごく限られていることはいなめない。

土壌中の挙動についてはともかく、田面水中の挙動については、いくつかの除草剤について報告が見られる。田面水中に溶解あるいは分散している除草剤成分は、流亡や移動を通じて効果や薬害に影響するばかりではなく、化合物によって植物体内への吸収特性がちがうため、除草活性の発現と直接結びついている場合もある。また、粒剤として施用された除草剤が均一な処理層を形成するためには、成分が一たん水中へ溶出することが前提となる。オキサジアゾンやベンチオカーブのように、田面水中に乳剤として施用するような場合には、一度、水中に分散した成分が土壌に移行してはじめて処理層が形成される。このように、除草剤の田面水中の挙動は、いろいろな意味で水田における除草剤の作用性と密接に結びついている。

個々の水田における除草剤の吸着の機構を明らかにし、生理活性との関係を知ってこれを実用的に利用することは至難であるが、田面水中での成分の挙動をある程度コントロールすることは必ずしも不可能ではない。

新しい農薬の開発が容易ではない今日、作用性に関する豊富な知見の蓄積があり、かつ十分に安全性の確認された既存の農薬は、農業生産の面からも、より有効に利用されることが配慮されるべきであろう。このような視点から既存除草剤の作用特性と使用方法を見直すことは決して無駄ではないと思われる。

筆者は、たまたま、最初の中期除草剤である MCC・MCP 粒剤、代かき時に施用するオキサジアゾン乳剤、さらには、生育期に粒剤で施用するにもかかわらず、落水してから散布するベンタゾン・MCP（または 2,4-D）剤というような、田面水中の挙動を無視することのできない 3 種類の除草剤の開発研究に参加する機

会に恵まれ、若干の知見を得ている。

そこで、除草剤の水田における効果、薬害の変動要因を、土壌要因、植物要因、気象要因および、使用方法や製剤、あるいは栽培技術といった人為的要因の 4 つに分けて考えて見るとともに、除草剤の有効利用という立場から、主として、田面水中の挙動との関連性についてとりまとめたものである。先輩諸兄のご批判を仰げれば幸甚である。

1. 土 壌 要 因

土壌に処理された除草剤が活性を発揮するためには、まず、化合物が有効な形で植物体と接触し、吸収されなければならない。いろいろな方法で処理された化合物が、最終的に植物に吸収される過程で、土壌はその吸着能によって、直接あるいは間接的に影響を及ぼす。

乾田条件では、土壌処理された除草剤は、vapor による地上部からの吸収など特殊な場合を除けば、地下部からのみ吸収される。しかし、水田では田面水が存在するため、水溶解度や吸着性など化合物の理化学的性質や、土壌条件、処理方法などによって変化する水中の挙動が植物の吸収のしかたに作用し、効果や薬害に影響を及ぼす。ベンタゾンのような、ほとんど土壌に吸着されない^(5,6)ような除草剤では、土壌の性質は直接的には土壌中の挙動に影響しないと考えられる。

吸着は化合物が基本的にもっている性質に支配される現象であるが、通常、乳剤や水和剤を大量の水とともに土壌表面に処理する畑除草剤とちがいで、湛水条件で粒剤として使用されることの多い水田除草剤では、土壌吸着と田面水との関係が重視される必要がある。田面水中に含まれる除草剤は、効果や薬害に直接影響するだけ

ではなく、粒剤から溶出した成分が土壤表面に吸着されることによって、均一な処理層を形成するという大きな役割を演ずるからである。

吸着に関与する土壤の性質としては、有機物含量・粘土含量・粘土鉱物の種類、土壤の団粒

構造・CEC・PHなどがあげられるが、大部分の除草剤にとって有機物含量と粘土含量が吸着と高い相関をもっている。しかし、有機物や粘土の内容はきわめて複雑であるため、同じ除草剤の吸着との相関がしばしば見失なわれたり、

第1表 土壤の特性と除草剤の吸着

(平井ら 1975)

吸着順位	試験場名	土 壌 の 特 性				オキサジアゾン			ベンタゾン	
		全炭素 (%)	粘土含量 (%)	CEC (me/100g)	PH (H ₂ O)	水中濃度 ¹⁾ (ppm)	吸着率 (%)	ED ₅₀ ²⁾ (mg/100g)	水中濃度 ³⁾ (ppm)	吸着率 (%)
1	北海道中央	4.36	51.0	25.6	5.2	0.027	98	0.64	7.83	2
2	上 川	4.88	19.6	24.2	4.9	.041	97	.22	7.36	8
3	秋 田	2.27	28.5	23.8	5.9	.046	96	.10	7.76	3
3	富 山	1.64	29.6	22.4	4.6	.046	96	.32	7.85	2
5	古 川	2.39	41.2	26.7	5.0	.050	96	.21	7.04	12
6	農 事	2.78	44.8	20.3	5.6	.052	96	.11	8.27	9
7	静 岡	2.18	29.3	12.6	5.9	.053	96	.14	7.76	3
8	佐 賀	1.67	37.5	21.5	5.3	.054	95	.14	7.92	1
9	栃 木	2.62	21.5	14.3	4.9	.058	95	.25	7.68	4
10	滋 賀	1.50	20.3	11.9	5.9	.068	94	.16	7.92	1
11	島 根	1.75	21.8	16.9	5.8	.069	94	.08	7.44	7
12	兵 庫	1.50	12.7	10.5	5.5	.071	94	.10	7.92	1
13	大 分	1.93	40.0	13.4	6.1	.077	94	.15	7.53	6
14	岡 山	1.34	30.8	11.1	5.0	.079	93	.11	7.60	5
15	鳥 取	2.17	25.2	12.8	4.9	.083	93	.26	7.20	10
16	愛 知	1.46	36.0	14.6	6.1	.088	93	.06	7.68	4
17	福 岡	1.71	10.6	7.5	5.0	.089	93	.07	7.52	6
18	長 崎	1.29	21.0	9.7	4.9	.090	92	.26	7.92	1
19	香 川	1.35	13.6	7.8	5.8	.094	92	.16	8.00	0
20	千 葉	1.24	20.4	14.8	5.9	.097	92	.07	7.42	7
20	道 南	1.22	13.9	16.2	4.8	.097	92	.14	7.68	4
22	広 島	1.05	14.9	5.6	5.2	.099	92	.04	7.68	4
23	愛 媛	0.95	13.1	7.5	5.6	.100	92	.06	7.36	8
24	鹿 児 島	1.55	11.5	10.6	5.7	.109	91	.07	7.60	5
25	茨 城 (黒)	3.55	22.8	24.2	5.6	.110	91	.16	7.92	1
26	栃 木 (黒)	7.93	24.6	36.2	5.8	.112	91	.12	7.45	7
27	石 川	1.35	22.2	10.8	5.4	.114	90	.04	7.76	3
27	宮 崎	1.81	19.7	14.0	5.7	.114	90	.15	7.92	1
29	岐 阜	0.88	16.4	10.6	5.7	.148	88	.02	7.50	6

注). (黒) は黒色火山灰土を意味する。

1) 初濃度 1.2 ppm.

2) タイヌビエの地上部生体重を90%抑制する薬量 (mg/100g 土壤).

3) 初濃度 8 ppm.

相反する結果となる。水田除草剤にもそのような例が見られる。

P C P の吸着を 8 種類の土壌の理化学性との関係について調べた角田 (1965) は、有機物含量 (全炭素含量) と吸着量の間には有意な相関があり、粘土含量とは相関がない⁽⁷⁾としているのに対し、14 種類の土壌を対象にした能勢ら (1963) の研究では、有機物含量 (全炭素含量) と吸着量の間に相関が見出されていない。そして、少なくとも腐植の少ない水田土壌では、P C P の吸着は粘土の表面で行なわれ、腐植は必須な補助作用をすると考察している⁽⁸⁾。

Kawamura ら (1975) は、オキサジアゾンの吸着と除草活性の関係を 29 種類の水田土壌について調べ、吸着量は粘土含量とは相関があるが有機物含量とはないと結果を得た。ところが、供試土壌のうち、黒色火山灰土壌 2 種類を除外した 27 種類の土壌について再度検定を試みたところ、有機物含量とも粘土含量とも高い相関が見出されたという例を報告している⁽⁹⁾。第 1 表は、その実験結果の一部に、ベンタゾンの吸着率を測定した結果を加えたものである。オキサジアゾンの水溶解度は、0.96ppm (20℃) であり、この実験における初濃度 1.2ppm からの水中濃度の低下率をそのまま吸着率としている点に若干問題がないわけではないが、ほとんどの土壌において吸着のほとんどないベンタゾンとの吸着率のちがいに注目されたい。

このような結果は、毎年、いろいろな条件で栽培が続けられている水田土壌に含まれる吸着基質としての有機物や粘土の種類や内容は複雑多様であることから当然起こり得ることであるとも言えよう。水田に限らず農耕地の土壌は、一つとして同じものはないと言えないこともない。場所により、栽培様式によりそれぞれ異なる

特性をもち、かつ刻々と変化しつつある、いわば生きた土壌である。除草剤の使用されるすべての水田の土壌の性質を明らかにすることは不可能である。土壌の性質と除草剤の吸着や活性の関連性がかなりはっきりと実証されている除草剤でも、現場でこれを生かし、除草剤を選定し、適正な使用量、使用法に結びつけることはきわめてむづかしい。

畑除草剤と比較して、使用される除草剤の種類が少なくことにもよるが、水田除草剤の使用法は、製剤の種類・使用量・使用時期など非常に単純化されている。このことは、使用者にとってはきわめて便利ではあるが、除草剤の有効利用、安全使用という面からは、もっとキメの細かい使用法が考慮されてもよいのではなかろうか。

単一の作物と、田面水という土壌の複雑さをカバーする共通の系をもつ水田では、土壌と除草剤活性の関係について得られた知見は、除草剤のより有効な利用という形で生かすことが重要である。

2. 植 物 要 因

ここでいう植物要因とは、水田に処理された除草剤の効果や薬害を変動させる要因のうち、植物の生理、生態的特性など、植物自身に起因するものである。

除草剤の作用機構や、吸収、移行の仕方によって植物要因は除草剤の活性の発現にそれぞれちがった形で影響する。すべての除草剤は個々の殺草スペクトラムをもっている。イネ科雑草と広葉雑草、一年生雑草と多年生雑草といった大きな区別で感受性に大きな差のあるものもあり、S K - 233 のように、カヤツリグサ科の植物にのみ特に強い活性を示すものもある。イネ

科雑草と広葉雑草という分類でも、同一除草剤の活性を左右するような、植物の生態的なあるいは生長様式（growth habit）の顕著な差を見出すことができる。たとえば、イネ科雑草の発芽後の生長、特に草丈の伸長速度のちがいは植物体の水中に没している時間の差を意味する。この差は、湛水中に含まれる除草剤の吸収や移行性に影響する。また、葉が空気中に出ているかないかは、蒸散作用に関係する。蒸散が薬剤の吸収や移行と密接な関係にあることはよく知られた事実である。^(10, 11, 12)

種子や塊茎の大きさや構造が除草効果と関係している薬剤も多い。^(13, 14) 多年生雑草が一年生雑草に比べて、一般に防除にくい根拠の一つに貯蔵養分量をあげることができる。発生深度、発生期間、地下茎による繁殖等々、多年生雑草は除草剤による完全な死滅を避けるのに適した性格をもっている。ミズガヤツリやクログワイのような大型で直立するものと、ウリカワのように比較的小型で、根ぎわから葉がそう生しているものでは、やはり湛水中からの薬剤の吸収に差があるはずである。ウリカワの場合、そう生する葉の中心部はすりばち状にくぼみ、その

中に生長点が存在するので、散布された粒剤が直接この部分に付着する可能性がある。粒剤の大きさは除草剤の種類によって若干ちがいがあ、同じ剤の中でもかなりのばらつきは見られるが、普通1粒の重量は0.5～2mgの範囲内である（第2表参照）。仮に1粒重が1mgとすると、標準施用量である3kg/10aの粒数は、300万粒となる。これは㎡当り、3,000粒に相当する。したがって、もし均一に散布が行なわれるならば、ウリカワのような形態の植物には、生長点部分に直接粒剤が付着する確率は決して低くはない。筆者は、MCP粒剤およびベンタゾン・MCC粒剤の一粒が、相当生育の進んだウリカワを十分枯殺する能力をもつことを確認している。しかしこの場合、ウリカワの中心部以外に付着しても十分な殺草力は示されなかった。

植物の地下部の差異も重要である。発生深度や根群の分布は土壌中の除草剤の吸収に影響する。水田の一年生雑草の発生深度は浅いので、

第2表 市販粒剤の大きさ

除草剤名（購入年）	100粒重、※ （mg）	3kg当り粒数※※ （千）
M O（1976）	71	4,225
N I P（1974）	198	1,515
X - 52（1976）	123	2,439
サター ンS（1976）	296	1,013
クミリーFSM（1977）	172	1,744
マメットSM（1977）	199	1,522
スエッー M（1977）	138	2,174
バサグサン（1976）	65	4,615
グラスジンM（1977）	76	3,659

註）※ 5反覆（ただし、1袋）平均値。

※※ 計算値。



（著者未発表原図）

第1図 CIPC（またはCP-4592）の根部処理のイネに及ぼす影響



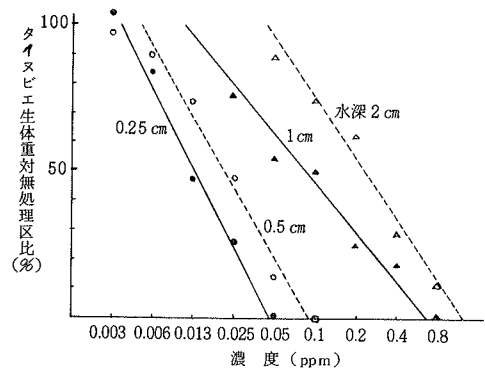
(著者未発表原図)

左：無処理，
中：CIPC区，
右上：CP-45592区，
右下：同，底面から写す。

第2図 CIPC, CP-45592の根部処理の
タイヌビエに及ぼす影響

根部吸収殺草性の小さい薬剤では，土壌深く混入すると当然除草効果は落ちる。ジフェニルエーテル系除草剤は，根部吸収殺草性が小さいとされているが，土壌表面から1 cm以上下方に存在するNIP, CNPは土壌表面から発生するタイヌビエに対してほとんど殺草力を示さない。⁽¹⁵⁾ この場合，根部からの吸収量が少ないことに加え，除草剤を吸収するまでにタイヌビエの生育段階が進むことも考慮に入れなければならないが，このタイプの薬剤にとって，土中深くに成分が混入するような処理方法は好ましいものではない。

第1, 2図は土壌中の除草剤に対する植物の興味深い反応例を示す写真である。土壌の下層に高濃度のCIPCまたはCP-45592 [N-metoxymethyl-6-t-butyl- α -bromo-o-acetotoluidide] の処理層を設け，その上層の無処理土壌にイネとタイヌビエが播種された。供試植物は正常に発芽，発根し生長するが，根が処理層に達すると，(CIPC区では両植物とも根端が奇型化し，その後の伸長は停止する。しかし，新根が次々に無処理土壌中に伸長し，写真に見られるごとく，地上部の生長にはまったく異常が



(著者，1972,未発表)

第3図 オキサジアゾンの殺草力に及ぼす水深の影響

認められない。CP-45592の場合にも，イネではCIPCと何ら変わることなく根の伸長は阻害されるが地上部に異常は見られない。ところが，タイヌビエの根は奇型化することなく処理層を通過して伸長したにもかかわらず，地上部の生長は著しく抑制され，やがて枯死した。すなわち，根の伸長が阻害されると，以後の吸収がとまるのに対し，阻害されないと薬剤を吸収して自ら枯死するという面白い現象が見られる。

このように，土壌中に存在する除草剤の活性は，除草剤の作用性と植物の種類や生育状態によってきわめて複雑に変化する。

田面水の除草剤の挙動と活性の関係については，比較的多数の報告がされている。

第3図はオキサジアゾン溶液中のタイヌビエ種子の殺草力と水深の関係を示したものである。0.25 cmの水深では，約1 ppmでほぼタイヌビエは死滅する。0.5, 1, 2 cmと水深が増すにつれて，タイヌビエを殺草する水中濃度は，0.8, 0.1, 0.05 ppmと急激に低くなる。水深0.5 cmと1 cmの間に見られる活性の差は，系内の総薬量の差では説明されない。1 cm以上の湛水条件であることによって，タイヌビエのオキサジアゾンに対する感受性が何らかの理由で著しく高まったこ

となる。

いくつかの除草剤について、溶液中のノビエの発芽試験の結果が報告されている。漆原（1970）によると、CNPは0.06ppm、NIPは0.03ppmでヒエが殺草される⁽¹⁶⁾。この実験は9cmの処理液40mlで行なわれているので、水深は、0.6cm余りである。古谷（1974）によると、実験方法の詳細は不明であるが、オキサジアゾンは0.04ppm、CNPは0.16ppm、そしてベンチオカーブでは0.25ppmでタイヌビエの生育は停止する⁽¹⁷⁾。いずれも発芽時に雑草を殺草する田面水中の除草剤濃度は非常に近いので、実際の水田においても、処理後の濃度の消長が除草効果に重要な役割を果していることに疑いの余地はない。オキサジアゾン、CNP、NIPの標準施用量60、270、210g/10aが5cmの田面水中に、全量存在すると、濃度としては1.2、5.4、4.2ppmとなることを考えると、湛水中の除草剤がいかに強い殺草力をもっているかがわかる。

行永ら（1969）も、一定量のトリフルラリンを土壌混和処理した後、非常に低濃度の溶液で4cmの湛水条件にし、発芽前および1葉期のコナギに対する殺草力を調べ、湛水中のトリフルラリン濃度が除草効果に大きく貢献していることを実証している⁽¹⁸⁾。

水田除草剤は、土壌処理剤、雑草兼土壌処理剤（中期除草剤）であるにかかわらず、湛水条件で効果が高いとされていた。ところが、多年生雑草に卓効を示すベンタゾン剤では、むしろ落水または浅水条件において効果が高い。嶺（1974）は、ベンタゾンのウリカワの殺草性と吸収、移行との関係について興味ある実験結果を報告している⁽¹⁹⁾。同一濃度のベンタゾン溶液にウリカワ全体を浸漬した場合と、根部だけを浸漬した場合、薬液との接触面積が少ないにもかかわらず

ならず根部処理の殺草力が明らかに高い。根部処理では、特に茎葉部においてベンタゾンの蓄積が全体浸漬より多いことが高い殺草力の原因であるという。水溶性の高いベンタゾンが蒸散流とともに移行するため、葉が空気中に出ていると蒸散が盛んになって、葉中への蓄積が多くなるためではないかと考察している。水溶解度の大きい除草剤に共通する現象であるかどうかは疑問であるが、注目すべき特性であろう。

湛水中に含まれる除草剤は、ここで述べたいいくつかの事例に見られるように、単に植物との接触部位や接触面積だけではなく、いろいろな形で除草活性の発現に影響をおよぼしている。水田における雑草の生理・生態と除草剤の活性の関係については、いろいろな角度から検討されることが重要である。

3. 気 象 要 因

気象要因としては、温度、降雨、日照などに関連して、いろいろな要因が除草活性に影響する。温度は、直接除草剤の活性発現に関係しているばかりではなく、植物の生理活性を通じ、また、吸着現象への影響を通じて、除草活性にかかわりをもつ。梅雨明けの高温によるシメトリン剤の葉害や、低温におけるフェノキシ除草剤の筒状葉の多発などをその具体的な例としてあげることができる。

降雨は、除草剤の流亡や深水による葉害助長などを起こす。日照も植物の生長、除草剤の分解と深くかかわり合いがある。これら気象要因は、それぞれが単独にはではなく、土壌要因や植物要因とも重なって、複合的に除草活性に影響する。気象要因は除草剤使用に当って、実用的に避けて通れない問題である。商品化されている薬剤については、多かれ少なかれ、ある程度

の知見が得られているが、ここでは、詳細は省略させていただく。

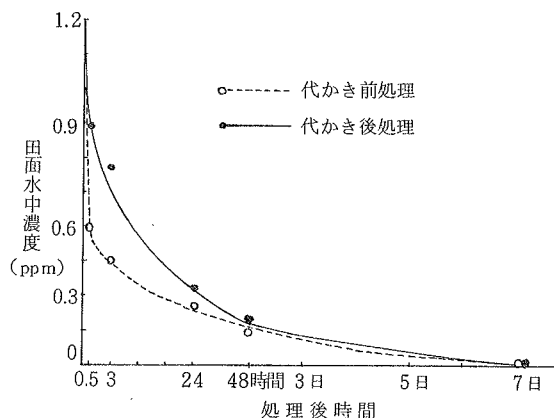
4. 人 為 的 要 因

水田における除草剤の活性は、実にさまざまな人為的要因によって左右される。その最大のものは、イネの栽培様式そのものである。

直播と移植、手植と機械移植、稚苗と成苗、早期と普通期といった基本的な栽培様式の差異そのものが、植物要因や気象要因はもとより土壌要因とも関連して、水田除草剤の実用的な評価に大きな影響を及ぼす。

代かき・施肥・田植・病虫害防除・水管理等々の作業や、同一除草剤の連用、裏作の有無なども、いろいろな形で除草剤の評価を変える働きをする。

中でも代かきは、最も大切な要因としてかかげることができる。代かきは、雑草の発生の現



(著者、1972、未発表)

4 図 オキサジアゾンE.C.処理後の田面水中濃度の変化 (埼玉県白岡町水田)

実的な出発点となるばかりではなく、直接、間接に除草剤の湛水中や土壌中の挙動に影響を及ぼす。代かきの方法は千差万別であり、その時期や方法は雑草の発生活消長をも変化させる。⁽²⁰⁾ また、代かきの程度によって、初期の減水深も

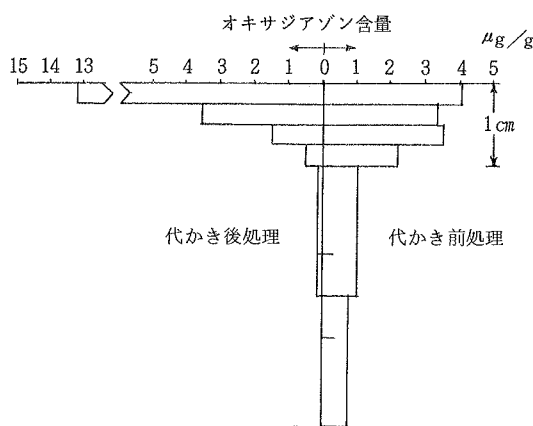
変化する。減水深と除草活性の密接な関連性については説明を要しないであろう。

田植前に処理される除草剤にとっては、特に代かきは重要な意味をもつ。中でもオキサジアゾンやベンチオカーブのように、乳剤として湛水中に処理される薬剤では、主として土壌吸着による水中濃度の低下が処理層形成を意味するので、土壌を攪拌する代かきとの関連性を無視することはできない。代かきの前に薬剤を散布すれば、水中濃度が急激に低下することは十分に予測される場所である。事実、実際の水田で、代かきの前後に散布したオキサジアゾンの田面水中濃度の消長がそれを示している(第4図)。ベンチオカーブについても、水溶解度はかなり高い(30ppm)が、類似の消長を示すことが圃場試験で確かめられている。⁽²¹⁾

代かきの前に散布すれば、濃度の低下は早い。が、土壌中への成分の混入程度が問題となる。必要以上に深く混入した除草剤は、普通、除草効果には貢献しないからである。土壌中に存在しても残効性に結びつかなければ、むしろ有害無益であると言えよう。

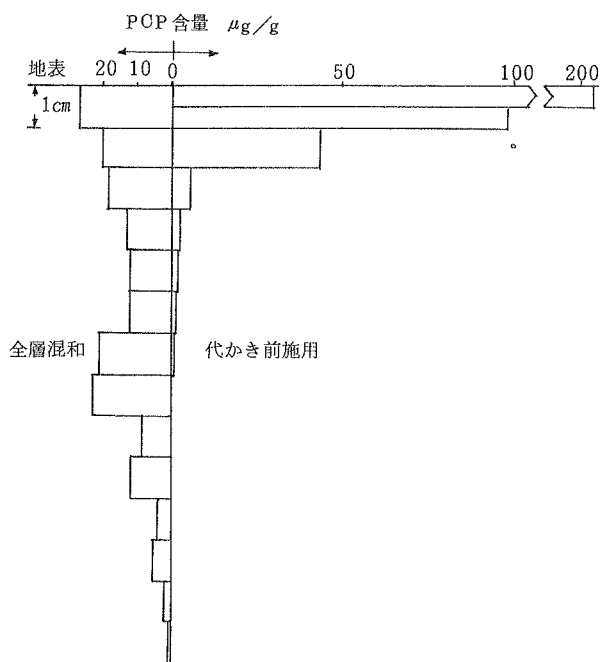
湛水中に溶解または、微粒子として分散する化合物は、土壌と共に攪拌するときわめて面白い挙動を示すことが知られている。⁽¹⁵⁾ 第5図は、代かきの前後に処理したオキサジアゾン乳剤の土壌中の層状分布を詳細に分析した結果である。a/5,000 ワグネルポットに、水田表土を4 cmつめ、2.5 cmの湛水条件とし、60 g/10a相当のオキサジアゾンを乳剤として、土壌の攪拌(代かき)の前後に処理し、土壌中に集積したオキサジアゾン量を層別に表わしてある。代かき後処理では、当然のことながら、オキサジアゾンは土壌のごく表層に大部分が集積している。ところが、全土壌を十分に攪拌した代かき前処理においても、オキサジアゾンは表層の1 cm以内に

高濃度に、しかも均一に分布し、それより下層には少量しか混入していない（第5図）。このような現象は、オキサジアゾン乳剤にのみ見られるのではなく、1964年に能勢がPCP-Na⁽²²⁾入り尿素を供試し、圃場試験で実証している



(猪飼ら, 1977, 未発表)

第5図 オキサジアゾンの層位別分布



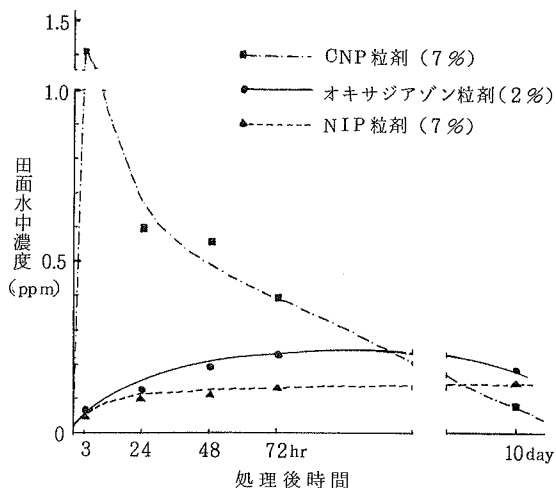
(能勢, 1964)

第6図 PCPの層位別分布
(PCP-Na 1kg/10aをPCP-Na入り尿素として施用)

(第6図)。図に示されているように、PCP-Na入り尿素を乾田条件で散布し、全層混和してから代かきを行なった場合は、PCPは10cm以上の深さにまでかなり均一に分布しているのに対し、入水してから施用し、代かきをした場合には、表層1cm以内、特に0～5mmの濃度が著しく、2cm以下にはほとんど混入していない。湛水条件で代かきを行なうと、粗粒子がすみやかに沈降し、吸着面積の大きい細粒子が後から集積し、表層が泥状構状に分化する⁽²³⁾。ことがオキサジアゾンやPCPを表面の土壤層に高濃度集積させる主因であると推察される。ただし、水溶解度の低い化合物の乳剤の場合には、乳化粒子の安定性や、サイズも問題となることが予測される。いずれにせよ、湛水中に溶解あるいは乳化粒子として分散するある種の除草剤が、土壌を攪拌しても深くには混入せず、

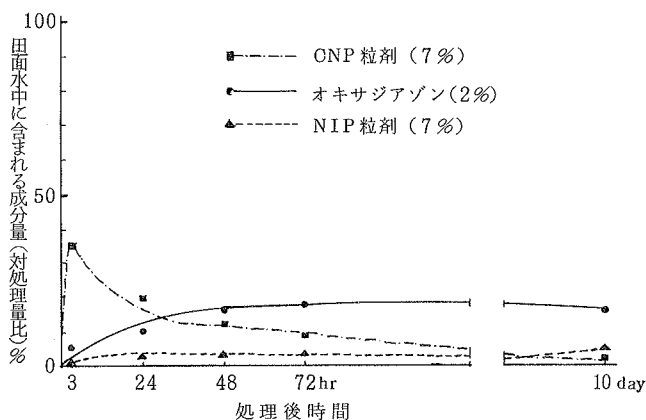
ごく表層に集積するという事実は、水田除草剤の利用法を考える上できわめて多くの示唆を含んでいる。

粒剤は、水田除草剤のもっとも普遍的な使用形態であるにもかかわらず、その物理的な特性と生物活性の関係について科学的に解析した報告はあまり見当たらない。粒剤のキャリアとしては、いろいろなものが使用されるが、除草剤の場合はほとんどすべてが、ベントナイトを主とした粘土である。使用量は、10a当り3kgが標準量とされているが、粒の大きさは、第2表のようにならかなりの変異が見られる。除草剤によって、水溶解度や土壌吸着性にも大差があり、作用性も使用量もまちまちである。一方、田面水中の除草剤の挙動が実用場面において、除草活性や処理層形成にとって、重要な意味



(著者ら, 1971)

第7図 田面水中における除草剤の消長



(著者ら, 1971)

第8図 田面水中における除草剤の消長

をもっていることは、今まで述べてきた通りである。除草剤の作用特性がいろいろな角度から検討され、明らかにされるならば、成分を水田にどのように分布させた時に最も有効であるのか推定が可能である。とするならば、茎葉処理除草剤で、植物への付着性や、浸透、移行などを製剤法や界面活性剤の加用によってコントロールし、より有効に利用する研究が精力的に進められているように、水田用の粒剤については、製剤と田面水中の成分の挙動の関係が重視され

ねばならないように思われる。

第7,8図は作用性の類似した三種類の除草剤の処理後の田面水中の消長を、温室内のポット試験で調べたものである。⁽²⁴⁾オキサジアゾン粒剤はベントナイトを主体とした試作品を供試したが、CNPとNIPは試販品の7%粒剤を用い、処理量はいずれも3kg/10aである。第7図は田面水中の濃度で、第8図は処理量に対する比率(%)で表現されている。CNPとNIPは、化学構造的にもきわめて近いものであり、水溶解度は、前者が0.4ppm 後者が0.7~0.9ppmといずれもきわめて小さい。しかし、この実験では、両剤間の田面水中の挙動に著しい差が生

じた。CNPは処理後30分に約14ppmという水溶解度をはるかに越えた高濃度となり、以後次第に濃度は低下し、10日後には0.1ppm 以下となった。この経過は先に述べたオキサジアゾン乳剤の代かき後処理の濃度の消長ときわめて類似している(第4図参照)。

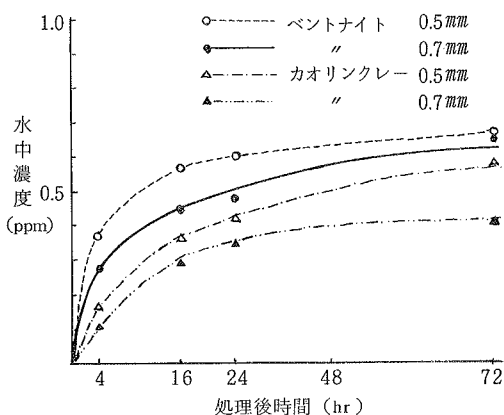
NIPは、処理後10日でも濃度の低下傾向は認められないが、濃度そのものはきわめて低く、最高でも0.15ppm程度であった。漆原らの実験では、両剤とも72時間後までの分析結果ではC

NPの濃度がやゝ高く経過しているものの、いずれも0.1ppm 以下の低濃度であり、かなり異なった結果が報告されている。⁽²⁵⁾これが実験条件のちがいによるものか、製剤のちがい(組成が報告されていない)によるものかは明らかではない。ただ、この実験では、田面水はピペットで吸い上げサンプリングされているので、CNPの場合は、一部分が微細粒子として舞い上がり、コロイド状に分散したと考えなければ水溶解度を越す濃度の存在は説明できない。すなわち、

水中の、わずかな刺戟によって水和剤のように分散する性質があると考えられる。いずれにしてもCNPとNIPでは、処理後の成分の挙動に差のあることは確かであろう。条件の異なる実際の水田で使用される時、このような製剤のちがいが効果や薬害とまったく無関係であるとは思われない。

オキサジアゾン粒剤は、NIPとよく似た消長を示した。成分含有率(2%)がNIPよりかなり低く、水溶解もほぼ同程度(0.96ppm/20℃)であるにもかかわらず、濃度がやや高く推移したのは、化合物自身の吸着特性のちがいか、やはり製剤のちがいによるものであろう。

これら3剤の消長を量的にとらえるために、水中濃度としてではなく、総処理量に対する水中に存在する量の比率として図示したのが第6図である。CNPでは、一時的には30%以上の



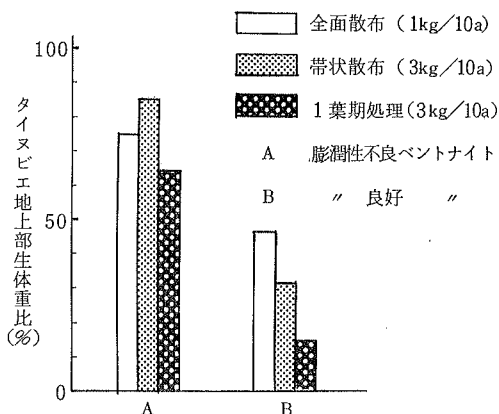
(岡, 1976)

第9図 増量剤(粘土)の種類および粒径と除草剤の溶出(オキサジアゾン1.5%粒剤)

成分が水中に存在するのに対し、NIPでは常に5%以下である。少なくともCNPの場合、一たん水中に出てきた成分は、土壌表面に沈降あるいは吸着され、処理層の形成に貢献しているはずである。水中に検出されなかった成分がどのような形で土壌中(未溶出もあり得る)に

存在しているかはきわめて興味深い問題である。

第9図は、キャリアとしてベントナイトとカオリンクレーを用いた。粒径0.5mmおよび0.7mmの計4種のオキサジアゾン粒剤(1.5%)を試作し、粒剤から蒸留水中への成分の溶出速度を



(著者, 1975, 未発表)

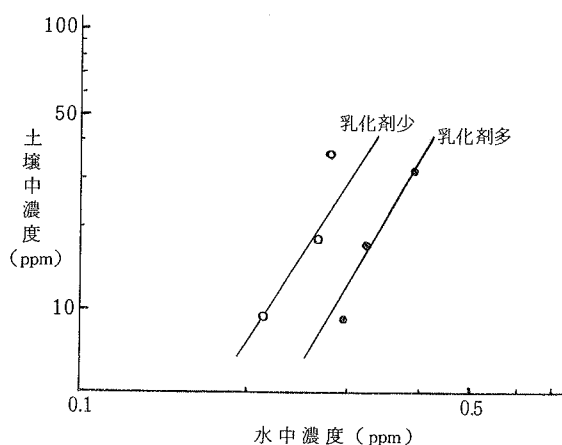
第10図 増量剤としてのベントナイトの種類がCNPの除草効果に及ぼす影響

調べた結果である。図から明らかなように、溶出速度はキャリアの種類や、粒径によって異なる。オキサジアゾンの場合には、ベントナイトがカオリンクレーより溶出が早く、同じキャリアでは、粒径の小さい方が明らかに早い。この二つの事実は、キャリアの組成や形状によって、成分の水中への溶出速度をある程度コントロールできることを示している。

粒剤のキャリアとして用いられるベントナイトは、鉱物学的にはモンモリロナイトを主構成成分とする粘土で、水に対する強い親和力を有するので、水中に投入すると、水分を吸収して著しく膨潤する。そして、さらに水分を吸収すると、ついには崩れて水中に分散する。この性質が粒剤からの成分の溶出や分散を促すために粒剤のキャリアとして重宝されている。しかし、ベントナイトの膨潤性は置換性カチオンの種類により、また媒質の反応や温度等によって変化

することが知られている。

膨潤性の異なるベントナイトをキャリアとして、CNPの7%粒剤を試作し、これをタイヌビエの発芽前および1葉期に湛水条件で土壤処理した場合の殺草効果が第10図に示されている。約0.3 mlのポットに1kg/10a相当を全面散布しても3kg/10a相当を1葉期に処理しても、殺草力はいずれも膨潤性不良の粒剤で明らかに劣る。発芽前に3kg/10aを全面散布ではなく、全面積と約 $\frac{1}{4}$ に2列に帯状に散布すると、膨潤性不良な粒剤では、1kg/10aの全面散布よりも殺草力が低下した。この結果は、粒剤自身の土壤表面での拡散とともに、成分の水中への



(猪飼, 1976, 未発表)

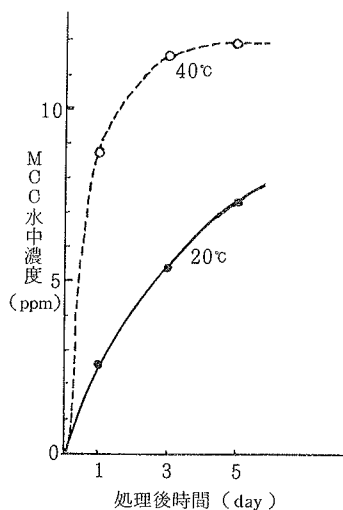
第11図 オキサジアゾン乳剤の乳化剤の多少と土壤——水中のオキサジアゾンの分配

すみやかな溶出が処理層形成に不可欠であることを示している。1葉期処理では、処理層形成よりも湛水中のCNP濃度が殺草力に主として関与していると考えられるので、殺草力の差は成分の水中への溶出速度、溶出量の差とみなし得る。

界面活性剤の存在も、化合物の土壤吸着に影響する事が知られている。各種の界面活性剤を土壤に加えた場合、土壤のコロイド部分による吸着はカチオン系のものの方が、アニオン系のもの

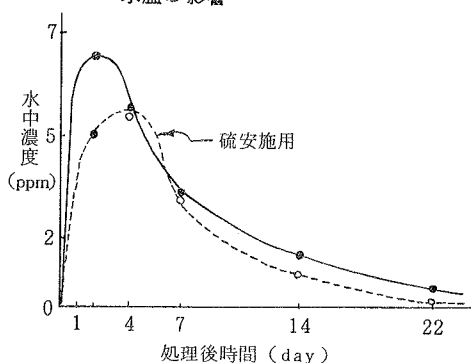
のより大きく、活性剤としての持続性は逆にアニオン系のものの方が大きいという報告⁽²⁷⁾がある。また界面活性剤を含んだ溶液中におけるPictoramの土壤吸着について、Gaynorら(1976)は、アニオン系の界面活性剤がPH5の条件では、土壤のadsorption siteにおいてpictoramと競合し、カチオン系界面活性剤を含む溶液中の吸着は、水溶液や、カチオン系、アニオン系界面活性剤を含む溶液中よりも大きいことを明らかにしている。⁽²⁸⁾

第11図は、乳化剤の含有量を変えたオキサジアゾン乳剤(12%ec)の水田土壤による吸着を調べた結果である。1.2ppmのオキサジアゾン



(田母神ら, 1968, 未発表)

第12図 MCC粒剤からの成分の溶出に及ぼす水温の影響



(田母神ら, 1968, 未発表)

第13図 MCCの溶出に及ぼす硫黄の影響

液に、異なった量の土壌を添加して、振とうし、平衡に達したオキサジアゾンの水中濃度と、土壌中濃度をプロットすると、ほぼ直線となり、一応、Freundlich の吸着式で表わされる関係が得られる。図から明らかなように、乳化剤の多少によって吸着に差が生じている。実用的に言うならば、オキサジアゾン乳剤では、乳化剤の添加量によって、処理後の田面水中濃度の低下、すなわち、処理層の形成速度がある程度変化することを意味している。

以上、田面水中における除草剤の挙動が、製剤や施用法によっていかに大きく左右されるか述べてきたが、製剤とは関係なく、粒剤からの成分の溶出に影響する要因もきわめて多い。二、三の事例をここに紹介する。水溶解度が水温によって変化することから、高温では当然、溶出速度は早い。第12図は、MCCの20%粒剤30mgを、20℃と40℃の500mlの蒸溜中に添加し、1、3、および5日後の濃度を測定したものである。40℃では、3日後にはほぼ全量が溶出しているのに対し、20℃では5日後でも約60%しか溶出していない。

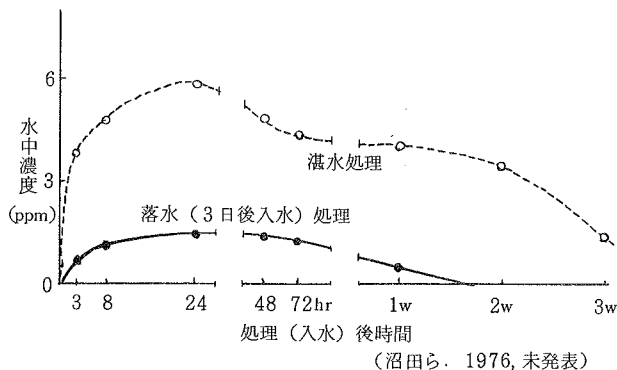
施肥条件も成分の溶出に影響する。水深5cmの水田条件とした60×60cmのコンクリート枠に硫安18gを添加、溶解後3kg/10a相当のMCC

粒剤(20%)を処理、経時的に田面水中のMCCの濃度を測定した結果が第14図である。硫安を施用しない場合には、1日後に最高濃度に達し、以後漸時低下するのに達し、硫安添加区では4日後に最高濃度となり、以後は硫安無添加区とほぼ同じ消長をたどる。溶出速度の遅延と最高濃度の低下が実的にどのような意味をもつか断定することはできないが、除草剤の種類や条件によっては、この差が除草活性に大きく影響する場面もあるのではなからうか。

最後に、土壌のあまり吸着されないベンタゾン剤の田面水における挙動について得られた興味ある結果を第14図に示した。ベンタゾンは、粒剤として処理する場合においても、浅水、または落水条件の方が有効であることは先に述べた通りである。湛水条件における効果の不安定性の原因が処理後の田面水中における消長と密接な関係のあることをこの実験結果が如実に表わしている。

この実験は、屋外の1×1mのコンクリートポットで、無漏水条件で行なわれたものである。処理時から湛水深は約5cmに保たれているので、水中濃度の6ppmは、粒剤中のベンタゾン全量が田面水中に存在することを意味している。[ベンタゾン+MCP(10+1.5%)粒剤を3g処理]湛水条件で処理され

たベンタゾンは、3時間後には4ppm近い濃度となり、24時間後にはほぼ6ppmに達する。その後も2週間以上わたって、50%以上が田面中に存在している。漏水条件では、このような高濃度が接続することはないであろうが、根部吸収が重要なベンタゾンにとってはきわめて不利な状況であることに変わりはない。また、田面水の移動にともなう成分の流亡も懸



第14図 ベンタゾン・MCP粒剤中のベンタゾンの田面水中における消長

念される。ところが落水してから処理し、3日後に再び入水した場合には、田面水中への再溶出量は非常に減少する。すなわち、一たん土壤水に拡散、分布したベンタゾン、吸着されていなくとも、拡散によって、田面水中に多量には移行しないと考えられる。ベンタゾンを含む除草剤が落水条件で効果が高いのは、まさにこのような田面水中における除草剤の挙動によって裏付けられる。

あ と が き

以上、水田における除草剤の活性の変動要因について、いろいろな角度から考察してきた。農業生産における農薬の有用性は、今さら言うまでもない。特に水田では、機械防除が効率的に行ないにくいため、除草剤への依存度はきわめて高い。従来、残った雑草の後始末に多大の労力のかかることや、次年度の発生源としての

危惧から、水田では、経済的に雑草害を除外するという除草剤の本来の役割以上に、1本の残草を許さない、いわゆる完全除草を理想とする傾向があったことは否定できない。農薬の経済性は、短期的、個人的レベルではなく、長期展望にたち、人類的レベルで評価されねばならない時代である。毒性面での安全性のみならず、自然生態系への深い配慮を抜きに農薬を使用することはできない。その意味でも、農薬は、適正に、効率的に使用されることが重要である。

このような視点に立って除草剤を見るならば、雑草はどこまで防除しなければならないかという雑草害の再評価と同時に、作物と雑草の生理生態的特性を除草剤の機能発揮に充分生かし、最少の施用量で最大の効果を発揮する合理的な施用法の開発研究が、新農薬の開発研究に劣らず重要であるように思われる。

参 考 文 献

- 1) 鋤塚昭三 (1973): 植物防疫・27, 407.
- 2) ——— (1973): 植物の化学調節・8, 72.
- 3) ——— (1976): 農薬科学・3, 107.
- 4) 井上克弘 (1969): 化学と生物・7, 596.
- 5) ABERNATHY, J. R. & L. M. WAX (1973): *Weed Science* 21, 224.
- 6) 小野 博, 平井康市, 河村雄司 (1976): 雑草研究 21 別号 119.
- 7) 角田 博 (1965): 土肥誌・36, 187.
- 8) 能勢和夫・鈴木隆之・福永一夫 (1963): 土肥誌・34, 291.
- 9) KAWAMURA Y. & K. HIRAI (1975): *Proc. of 5th APWSS Conference* 155.
- 10) CRAFTS, A. S. & S. YAMAGUCHI (1960): *Amer. J. Bot.* 47, 248.
- 11) MINSHALL, W. H. (1954): *Can. J. Bot.* 32, 795.
- 12) SHEETS, T. J. (1961): *Weeds* 9, 1.
- 13) 河村雄司 (1975): 雑草研究 20, 7.
- 14) HARVAY R. G. (1974): *Weed Res.* 14, 51.
- 15) 河村雄司・宇野良則・石田精一 (1972): 雑草研究 13, 31.

- 16) 漆原久幸・浜田虎二 (1970): 日本雑草防除研究会第9回講演会要旨集 45.
- 17) 古谷勝司, 片岡孝義 (1974): 雑草研究 18, 34.
- 18) 行永寿二郎, 上山良人, 難波健吉 (1969): 日本雑草防除研究会第8回講演会要旨集 34.
- 19) 嶺 昭彦, 日野修徳, 上田 実, 松中昭一 (1974): 雑草研究 18, 5.
- 20) 鈴木光喜, 須藤孝久 (1975): 雑草研究 20, 18.
- 21) 河野一彦, 能城義明, 箭木 昭, 安達亨一, 山内三治, 木村一郎 (1974): 日本雑草防除研究会第13回講演会要旨集 25.
- 22) 能勢和夫 (1964): 土肥誌. 35, 306.
- 23) 斉藤万之助, 川口桂三郎 (1971): 土肥誌. 42, 95.
- 24) 河村雄司, 宇野良則, 新井房子, 石田精一, 小野驒一 (1971): 日本雑草防除研究会第10回講演会要旨集 47.
- 25) 漆原久幸, 浜田虎二 (1970): 日本雑草防除研究会第9回講演会要旨集 41.
- 26) BAYER, L. D. & WINTEKORN, H. (1954): Soil. Sci. 40, 403.
- 27) IVARSON, K. C. & PRAMER, D. (1956): Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 20, 371.
- 28) GAYNOR J. D. & V. V. VOLK (1976): Weed Sci. 24, 549.

外 国 文 献 抄 録

atrazine の水溶液に関する拡散係数を迅速に測定する方法

Mesure rapide du coefficient de diffusion de l' atrazine en solution aqueuse

RAUOL CALVET

(Sience du Sol, F78-Versailles, France)

除草剤の動態の中で, 移動は重要な役割をもっている。多孔性の飽和した土壌中における流出を別にすれば, 移転の大部分は分子の拡散によるものである。この問題には拡散係数の考察が必要である。塩類については, 多くの測定があり, また, 方法としては, 大部分放射性同位元素をトレーサーとして用いたものである。

ここでは, これを用いなくて自己拡散係数を

測定する方法を提案する。

材料と試験方法

直径12mmのガラス管の中央に活栓をつけ, 操作によって, 溶液が上下两部分に切断または連続できるようにする。

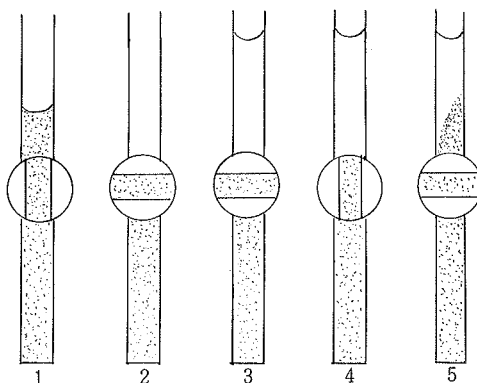


図1. 溶液の拡散測定装置