

# 除草剤の土壌における吸着・脱着 (アトラジン・リニュロンを例に)

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 本部  
総合企画調整部 研究戦略チーム 江波戸宗大

## 1. はじめに

一言で農薬と言っても様々な種類があり、使用目的により分類されている<sup>1)</sup>。特に土壌との関係が密接なのは土壌に混和処理するタイプの除草剤で、この普及によって除草労働時間が大幅に減少した<sup>2)</sup>。土壌処理型の除草剤は土壌の種類により除草効果が左右されるため、土壌への吸脱着、移動性、拡散、作物による吸収、微生物による分解など、除草剤の性質として多くの調査・研究が行われてきた<sup>3,4)</sup>。しかし、それらの大多数は、農薬という吸着質の性質に焦点を当てているものが多い。除草剤の土壌への吸着・脱着現象は農薬学と土壌学の境界領域であり、吸着質の性質を評価したいか、吸着剤の性能を評価したいかで研究のアプローチ方法が異なる。今回は反対側からの視点である、土壌という吸

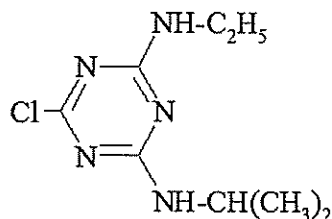
着剤から見た農薬、特に除草剤の挙動について紹介する。除草剤として、トリアジン系のアトラジン、ウレア系のリニュロンの2種類を用い、様々な種類の土壌について吸着・脱着の様子を比較検討した内容を解説する。

## 2. 吸着剤としての土壌を評価する指標の検討

### 1) 吸着割合 (Adsorption Ratio, AR)

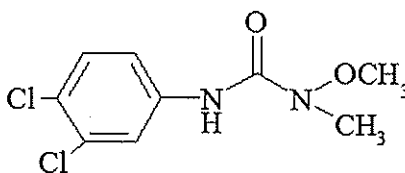
除草剤の土壌吸着を評価するのに、除草剤濃度を何水準か振って土壌への吸着実験を行うのが一般的であるが、この場合の指標として、 $K_d$  や  $K_{oc}$  等の分配係数が用いられる<sup>4)</sup>。この計算式は、 $K_d = (\text{土壌に吸着した除草剤濃度}) / (\text{平衡濃度 (水溶液中の除草剤濃度)})$  で、除草剤が土壌と水のどちらに行きやすいかを数量化したもの、すなわち除草剤の立場から見た指標

(1)



$K_{oc}$	39-173
molecular weight	215.68
melting point	171-174 °C
solubility in water at 25 °C	70 ppm

(2)



$K_{oc}$	500-600
molecular weight	249.11
melting point	93-94 °C
solubility in water	75 ppm

図1 (1)アトラジン、(2)リニュロンの化学構造および特性値

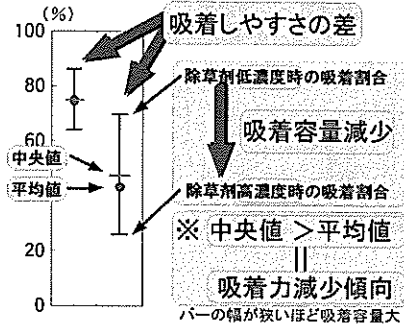


図-2 吸着割合分布 (DAR) 図の読み方

である。土壌という吸着剤から考えた場合、初期投入量に対する吸着量で評価した方が分かりやすいと考え、吸着割合 (AR)(%) = (吸着量) / (初期投入量) × 100 を定義した<sup>5)</sup>。除草剤濃度を何水準か振って AR を分布 (Distribution of Adsorption Ratio, DAR) させ、箱ヒゲ図のようにプロットしたのが図-2である。吸着実験を行う際の除草剤濃度が低いと AR は高く、濃度が高くなるにしたがい、AR は低くなる。この時、AR 値が高い土壌ほど吸着しやすく、除草剤濃度を高くしても AR 値があまり変化しないものは吸着容量が大きいと評価できる。少し視点を変えて吸着剤である土壌の立場から見ると、容量の概念をあてはめることができるようになる。中央値が平均値よりも高い場合は AR の分布が下に偏ってきていると判断で

きる。このため、これ以上除草剤濃度を高くしても土壌表面に吸着できる除草剤量は増えない、吸着力が減少傾向にある。DAR から、このような情報を読み取れることから、除草剤の利かせ方を上手にコントロールするのに有効な指標として使えるのではないかと考えている。土壌処理型の除草剤は、土壌の方で吸着容量が大きすぎてしまうと土壌に吸着されたまま溶出されてこなくなってしまう可能性があり、除草剤の効果を発揮させるためには散布時の除草剤濃度を上げる、もしくは散布量を過剰に設定するなど、環境中に必要以上の量を使用しなければならぬ。土壌について予め吸着剤としての性質が判っていれば微妙な調整が可能となる。日本の代表的な土壌 42 点にアトラジンの吸着実験を行った結果について、クラスター分析によって DAR が近い土壌グループに分類したのが図-3である。A グループから F グループに行くにしたがい、吸着しやすい土壌に分類されており、さらに、C グループや D グループのように吸着しやすくても容量が小さくて、DAR が幅広になっている土壌にもまとめられた。同様にリニュロンの吸着実験を行った結果について図-4に示す。クラスター分析の結果、土壌のグルーピングはアトラジンの場合と全く同じに

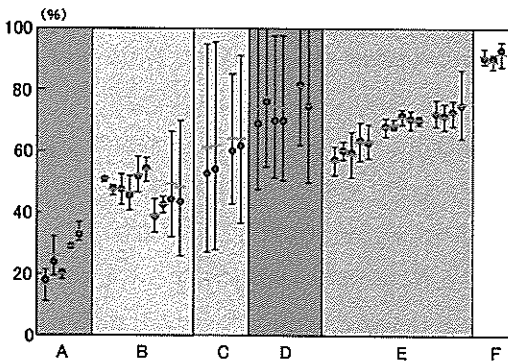


図-3 日本の代表的土壌 42 点のアトラジン吸着割合分布 (DAR) とクラスター分析による分類

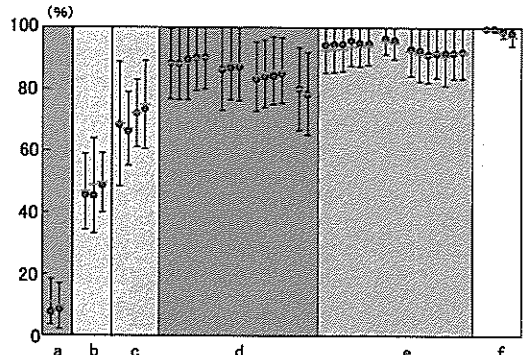


図-4 日本の代表的土壌 42 点のリニュロン吸着割合分布 (DAR) とクラスター分析による分類

はならなかったが、図-1のKocの値から分かるように、アトラジンよりもリニュロンの方が土壤に吸着しやすく、DARが高い位置にある傾向だった。Eグループとeグループはほぼ同じ土壤で構成されているが、DARの位置および幅はeグループの方が揃っており、リニュロンは吸着しやすさおよび容量が土壤の性質による差が出にくいことが明らかになった。

吸着しやすさと吸着容量が土壤のどのような性質に関係があるかを考察するため、土壤の一般理化学性データを基に因子分析を行った。一般理化学性データは相関が高い項目もあるので、多重共線性をなくすために主成分分析を行い、土壤の性質を、交換性塩基、有機物、土性、交換性酸度の4つの軸にまとめ(表-1)、アトラジンの土壤吸着時に分類された土壤グループごとに因子得点の分布を表示した(図-5)。吸着しやすさは有機物因子の得点が高くなるにしたがって高くなり、吸着容量が極端に小さいCグループやDグループでは交換性塩基因子の得点が高かった。近年、施設栽培等で塩類化が進んでいる土壤の存在が多数報告されており、このような土壤では吸着容量が小さく、除草剤の利きに影響している可能性が示唆された。

表-1 日本の代表的土壤42点の一般理化学性を基にした主成分分析結果

因子	固有値1以上 バリマックス回			
	交換性 塩基	有機物	土性	交換性 酸度
交換性カリウム	0.80	0.10	0.15	0.07
交換性カルシウム	0.66	0.21	0.14	0.54
交換性マグネシウム	0.90	0.16	0.05	0.05
pH	0.79	-0.18	-0.32	0.30
EC	0.85	0.16	0.08	0.03
全炭素量(%)	0.10	0.98	0.05	-0.03
全窒素量(%)	0.10	0.95	0.02	0.15
CEC	0.25	0.66	0.51	-0.23
砂(%)	-0.07	-0.06	-0.92	0.35
シルト(%)	-0.06	0.46	0.75	0.21
粘土(%)	0.13	-0.24	0.68	-0.59
交換性アルミニウム	-0.40	0.02	0.25	-0.94
交換性水素	-0.11	0.02	0.15	-0.94
交換性ナトリウム	0.40	-0.01	-0.01	0.35
因子寄与率(%)	26.3	19.4	16.9	19.2

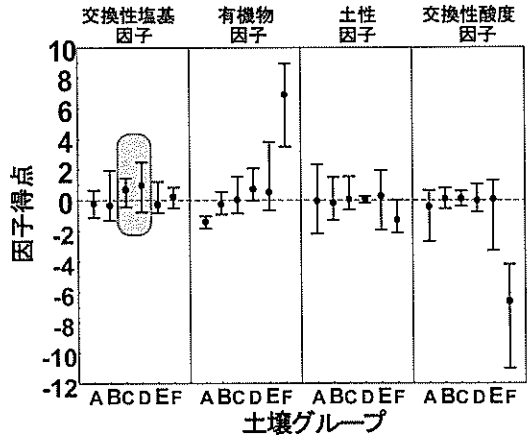


図-5 日本の代表的土壤42点の土壤の性質を表す各因子とDARによる土壤グループの因子得点

2) ヒステリシスに関する指標

吸着現象とは、吸着剤に対して吸着質が吸着と脱着を繰り返した後に平衡に達する「見かけの吸着」として観測される。したがって、吸着だけでなく、脱着に関する考察も必要である<sup>6-12)</sup>。吸着では吸着実験について吸着等温線がひとつしか考えられないが、脱着に関しては、図-6のように、初期除草剤濃度ごとや脱着実験回数ごとで脱着等温線の引き方が変わるので、どのような脱着現象を評価したいのかによって適宜使い分けをする必要があり、一筋縄ではなかなかうまくいかない。しかも、脱着実験は吸着実験後に引き続き、脱着操作を何回か繰り返すため、操作も煩雑で、時間がかかり、さらに実験結果の解釈も様々な要因を考慮しなければならない。

除草剤の土壤吸着現象では、除草剤の種類、土壤の種類、吸着条件、脱着条件によって吸着挙動と脱着挙動が異なることが知られている。このとき、除草剤の土壤に対する不可逆吸着をヒステリシスと言う<sup>12, 13)</sup>。このヒステリシスを定量的に評価できれば、除草剤の土壤からの脱着現象、特に「脱着しやすさ」について理解

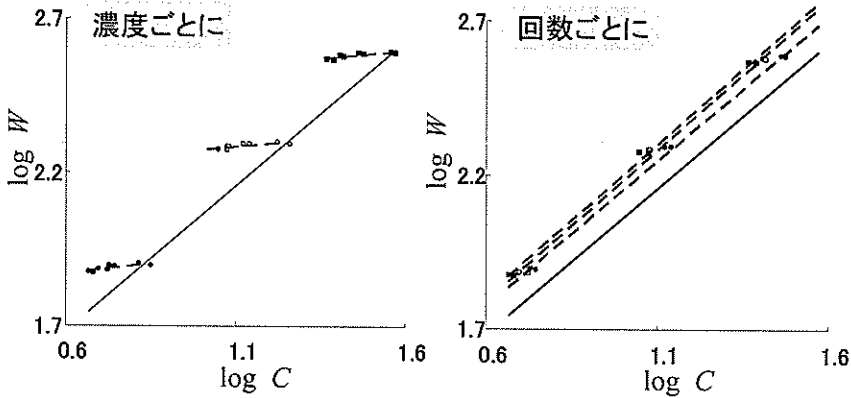


図-6 初期除草剤濃度ごと、また、脱着実験回数ごとの脱着等温線

が進み、吸着後の除草剤の除草効果について考察を展開できるのではないかと考えた。

脱着実験操作で交換する溶液量が分かれば、溶液中から取り除かれた除草剤量は計算できる<sup>14)</sup>。そこで、吸着実験を行った後に、脱着実験1回につき、溶液の25%を0.01M塩化カルシウム溶液に置換して、脱着実験を3回繰り返すことにした(図-7)。吸着実験後に溶液全量を除草剤フリーの溶液に交換してしまう脱着実験も見受けられるが<sup>6,15)</sup>、土壌によって保持される溶液量が異なるため、各土壌間での比較を行うことを考慮して、少しずつ平衡をずらして除草剤を脱着させることにした。この時、除草剤が溶液から取り除かれた割合(Removed

Ratio, RR)と脱着実験後に除草剤が脱着した割合(Desorbed Ratio, DR)が等しければ可逆平衡なので(図-8)、RRに対するDRの比(DR/RR)をヒステリシスの指標とした。DR/RR < 1であればヒステリシスであると判定される。

日本の代表的土壌21点(黒ボク土(農耕地)7点、黒ボク土以外の土壌(自然植生)6点、黒ボク土以外の土壌(農耕地)8点)についてアトラジンの吸着・脱着実験を行い、初期アトラジン濃度ごとにDR/RRを調査した(図-9)。

農耕地土壌では、黒ボク土はDR/RRが1よりはるかに小さい土壌もあり、ヒステリシスがきつかったが、黒ボク土以外の土壌はDR/RRが0.8以上のものが多く、黒ボク土とそれ以外

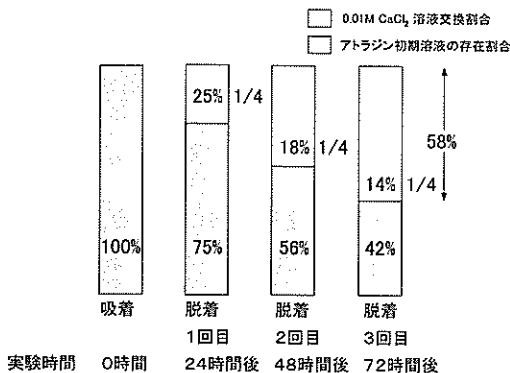


図-7 吸着実験後の脱着実験時に行われる溶液交換

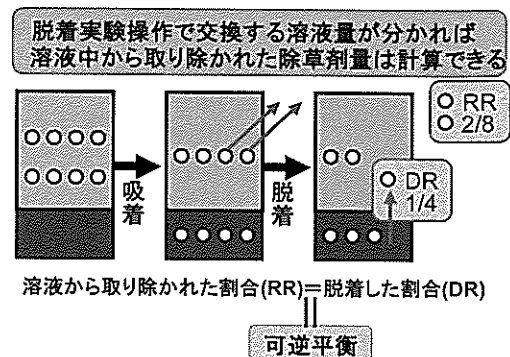


図-8 脱着実験を行った際の平衡状態の判定方法

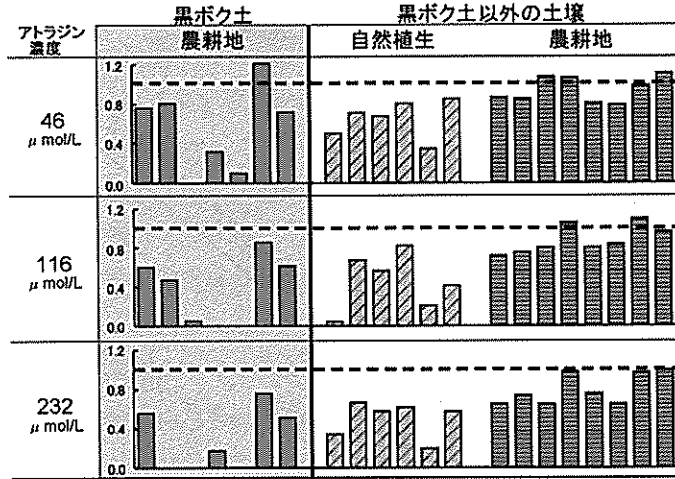


図-9 日本の代表的土壌 21 点の初期アトラジン濃度ごとの DR/RR 点線は DR/RR=1 黒ボク土(農耕地) 7 点, 黒ボク土以外の土壌(自然植生) 6 点, 黒ボク土以外の土壌(農耕地) 8 点。

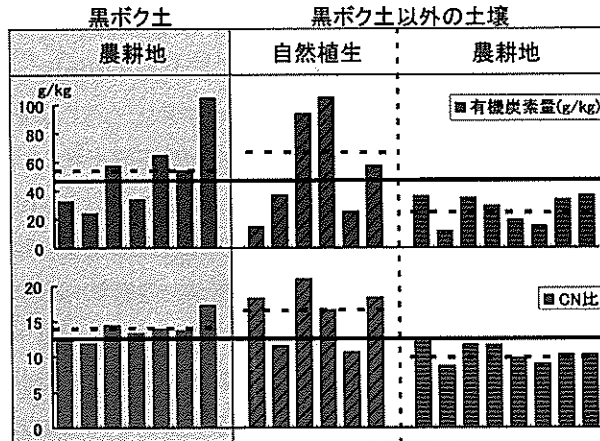


図-10 日本の代表的土壌 21 点の有機炭素量および CN 比 黒ボク土(農耕地)7 点, 黒ボク土以外の土壌(自然植生)6 点, 黒ボク土以外の土壌(農耕地)8 点。実線は全体の平均値, 点線は各分類ごとの平均値

の土壌で傾向が大きく異なった。黒ボク土以外の土壌では、自然植生と農耕地の土壌の比較を行うと、自然植生の方がヒステリシスがきつい傾向であった。

ヒステリシスがきつくなる要因として、有機炭素量が多い土壌であることが分かった。しかし、黒ボク土の農耕地土壌の中には比較的有機物量が少ないにもかかわらず、ヒステリシスがきつい土壌もあり、このような土壌は CN 比

が高い傾向であった(図-10)。有機物の量だけでなく、有機物の質もヒステリシスに影響を与えていることが示唆された。

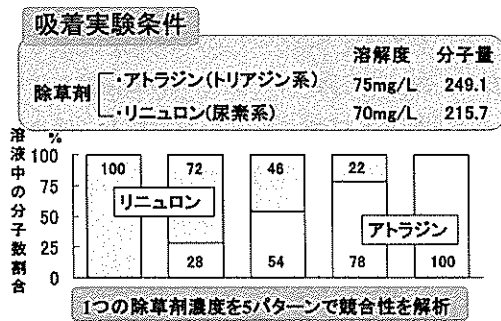
## 2. 除草剤の土壌吸着時における競合性

農耕地に対して複数種の除草剤を用いている散布していることもあり、除草剤の相互作用によってそれぞれの除草剤の挙動が変わってしまう可能性がある<sup>16, 17)</sup>。除草剤 1 種についての

土壌吸着に関する研究は数多くあるが、除草剤の競合性に関する研究は今までほとんど行われていないので<sup>18)</sup>、その評価方法の開発が必要である。除草剤を競合させることにより除草剤の性質の違いから土壌における吸着サイトの性質も明らかになる可能性がある。

除草剤の土壌吸着における競合性の検討方法として、除草剤の土壌吸着では、散布される除草剤溶液の濃度が異なる、すなわち、溶液中の除草剤分子数が異なると、吸着量や吸着割合が変化することが知られている<sup>2-4)</sup>。したがって、除草剤溶液中の総分子数すなわち総モル数が同じ条件下でのみ除草剤間の相互作用、競合性を評価することができると考えた。吸着実験条件として、アトラジンとリニュロンを用い、図-11のように、溶液中の除草剤分子数はほぼ同じになるようにアトラジン分子数割合を0、28、54、78、100%と5パターンで競合性を解析できるように設定した<sup>19)</sup>。アトラジンの分子数割合の増加に従ってリニュロンの分子割合は100、72、46、22、0%と減少する。除草剤の濃度は約50、100、200  $\mu\text{mol/L}$ の3水準で設定した。

初期溶液濃度間での違いを検討するために除草剤が土壌に吸着した割合についてグラフにし



除草剤濃度: 約 50, 100, 200  $\mu\text{mol/L}$  (3水準)

図-11 競合性検討のための吸着実験条件

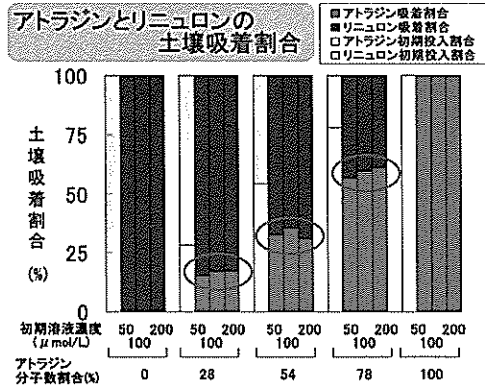


図-12 アトラジンとリニュロンの土壌吸着割合

た。図-12は農耕地の黒ボク土について吸着実験した結果である。アトラジンの土壌吸着割合はアトラジン吸着量を除草剤総吸着量で割った。縦軸に土壌吸着割合、横軸はアトラジン分子数割合ごとに、初期溶液濃度を左から50、100、200  $\mu\text{mol/L}$ の順で並べた。一番左の色違いは除草剤初期投入量の割合を示している。赤い丸で示してあるように初期溶液濃度間の違いはほとんどなかった。初期投入量と吸着量を比較すると、リニュロンの吸着量が多くなっているが、除草剤によって分配係数が異なるため、このグラフから競合性については判断できず、除草剤分子数割合が100%時の吸着量を基準にして計算することにした(図-13)。計算値

土壌吸着時における除草剤の競合性評価方法

計算値 = 100%時の吸着量 × 初期濃度中の分子数割合  
除草剤それぞれについて計算

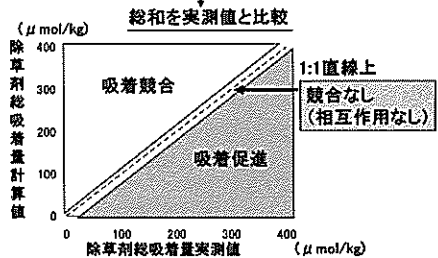


図-13 土壌吸着時における除草剤の競合性評価方法

は100%時の吸着量×初期濃度溶液中の分子数割合で、アトラジン、リニュロンそれぞれについて計算し、その計算値の総和を実測値と比較した。横軸に実測値、縦軸に予測値で、点線は1:1直線である。この線上にプロットされれば競合性(相互作用)はないと考えられる。点線より左上の範囲は除草剤同士が吸着サイトで競合している、一方、点線よりも右下の範囲は除草剤が余分に吸着している、すなわち吸着促進が起きていると判断できる。

図-12の結果をこの競合性評価方法で検討すると、図-14のように点線上にプロットされており、吸着サイトをめぐる競合は起きていなかった。これ以外にも、農耕地の黒ボク土2点、褐色森林土2点、農耕地の灰色低地土3点について検討したが、どれも吸着サイトをめぐる競合は起きていなかった。

土壤吸着割合については黒ぼく土と褐色森林土で異なっていた(図-15)。赤い丸で示してあるように、黒ぼく土の方がリニュロンの土壤吸着割合が多い傾向だった。土壤サンプル数が少ないため統計処理による解析はできなかったが、吸着サイトの性質に関する知見が得られる可能性があると思われた。

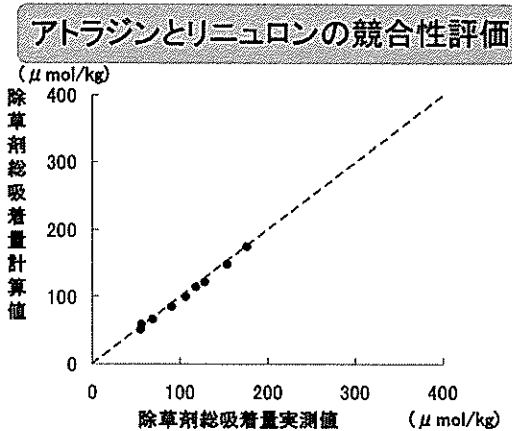


図-14 アトラジンとリニュロンの競合性評価

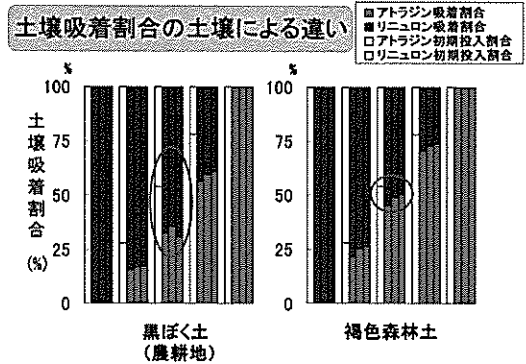


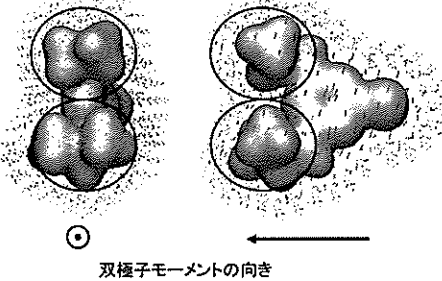
図-15 土壤別のアトラジンとリニュロンの土壤吸着割合

アトラジンとリニュロンでは土壤吸着で競合しないという、いささか面白味に欠ける結果ではあったが、その原因として、(1)除草剤分子数よりも吸着サイト数が圧倒的に多い、または(2)除草1分子が土壤吸着した上にさらに別の除草剤がせいぜい1分子程度吸着できる(土壤に吸着した除草剤1分子の上に別の除草剤が2分子、3分子と数珠つなぎのように吸着できない)、と考えられた。

土壤によって吸着割合が異なる点について、アトラジンとリニュロンの分子形状に関して分子軌道法(MOPAC 97<sup>20, 21)</sup>)を用いた計算を行った(図-16、図-17)。3次元を2次元表示しているため見にくいですが、図-16と図-17それぞれの左図は双極子モーメントの向きが紙面の裏から表で、吸着サイトに吸着する向きである。図-16と図-17それぞれの右図は左図を90度左回転して横からみた図である。周りの赤と青の点は荷電状態を表し、赤がプラス、青がマイナスである。土壤表面はマイナスに帯電しているため、アトラジンは吸着サイトに対して2点で吸着する感じになる。一方、リニュロンはただ1点だけで吸着するようになる。さらにリニュロンは分子の形状がアトラジンよりも

アトラジン分子の形状

双極子モーメント 3.614 debye

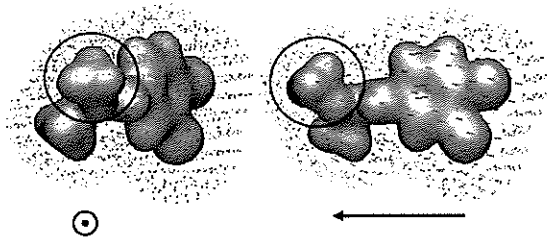


双極子モーメントの向き

図-16 MOPAC97によるアトラジンの分子形状および荷電特性

リニユロン分子の形状

双極子モーメント 4.048 debye



双極子モーメントの向き

図-17 MOPAC97によるリニユロンの分子形状および荷電特性

スリムで、双極子モーメントの値が大きいため、相対的にリニユロンの方がアトラジンよりも土壌表面に吸着しやすい傾向が見られた。今回用いた黒ボク土と褐色森林土では、黒ぼく土の吸着サイトの形状や大きさがリニユロンの吸着に有利に働いたことも考えられる。分子形状や荷電状態が異なる除草剤を組み合わせることで、土壌表面の吸着サイトの性質や特性の解明に役立つ可能性を見いだせた。

3. 堆肥施肥量が異なる場合の主要雑草9種のアトラジン感受性評価

除草剤の土壌吸着に関する研究だけでは、実際の除草効果が評価できない。そこで、飼料畑への有機物投入量の違いに応じた、主要外来雑草の除草剤感受性を評価し、土壌理化学性の変化が除草剤吸着特性におよぼす影響を明らかにする試みを行った。

飼料生産現場では1980年代後半から外来雑草の侵入による被害が著しく、飼料作物を生産する意欲を減退させる一要因になっており、外来雑草の効果的防除法が求められている。飼料畑の管理方法が雑草の発生具合を左右するという知見があり、除草剤の効果が飼料畑の管理方法で異なることが予想できる。土壌処理型の除

草剤は散布されると直ちに土壌に吸着されるが、除草剤の土壌吸着は土壌有機物の量と質に大きく影響されることから、飼料畑管理方法の中で飼料畑に投入される有機物量の違いに着目した。

除草剤はアトラジンを、供試土壌は黒ボク土と褐色低地土に牛糞たい肥0, 1, 2, 4, 10t/10a相当量を混和して用いた。外来雑草の除草剤感受性試験は、1/5000aワグネルポットに外来雑草9種を播種し、アトラジン水和剤100ml/10a相当量を施用した後、本葉2枚以上展開した個体を残存個体として計数した。個体残存率(%)=(残存個体数)/(播種数×発芽率)×100

雑草は遺伝的に多様であるため、ポット試験

表-2 供試土壌の理化学性および有機物添加処理方法

種類	土地利用	pH	EC mS/cm	全炭素 CN比	
				%	
黒ボク土(A)	山林	5.87	0.10	8.3	17.3
褐色低地土(B)	畑	6.52	0.09	3.7	12.2

有機物混入量を5水準設定

有機物:完熟おがくず牛ふん堆肥  
(pH 8.43 EC 5.00mS/cm)

混入割合: 0, 1, 2, 4, 10t/10a

供試土壌:A-0t, A-1t, A-2t, A-4t, A-10t  
B-0t, B-1t, B-2t, B-4t, B-10t (計10点)



主要雑草のアトラジン感受性評価方法

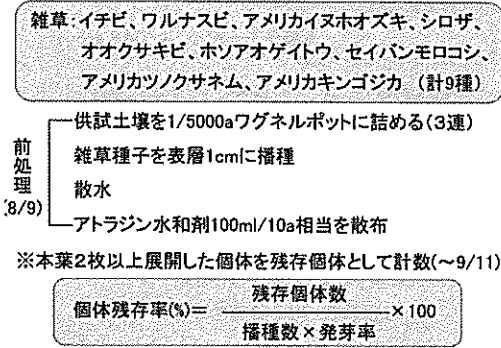


図-18 供試した雑草の種類とアトラジン感受性評価方法

を3連で行っても主要外来雑草の個体残存率は大きくばらついたが、雑草種によって残存パターンに一定の傾向が見受けられ、土壌の種類や有機物施用量の違いが雑草の定着に影響していることが明らかになった(図-19)。興味深いのは、雑草種によって、黒ボク土だけで効果があったり、褐色森林土だけで効果があったりする例が見られたことである。

アトラジン初期濃度6水準(7.4~47.6ppm)についてパッチ法で吸着実験を行い、HPLCでアトラジン平衡濃度を測定し、アトラジン初期濃度と平衡濃度の差からアトラジンの土壌吸着量を求めた。アトラジンの土壌吸着特性は、各アトラジン初期濃度における吸着割合を分布の

形にまとめて評価した(図-20)。

両土壌におけるアトラジン吸着特性は、1t/10aの有機物施用で吸着しやすさが最大になり、有機物施用量が増加するにつれ、吸着しにくくなる傾向であった。黒ボク土と褐色低地土のアトラジン吸着特性を比較すると、黒ボク土の方がアトラジンを吸着しやすく、また、有機物施用量が増加するにつれ、吸着容量が大きくなった。有機物施用量の増加に伴う土壌理化学性の変化について検討すると、両土壌とも全炭素量やC/N比の変化はわずかであったが、黒ボク土では交換性塩基量(CEC)と塩基飽和度が著しく増加しており(表-3)、有機物施用

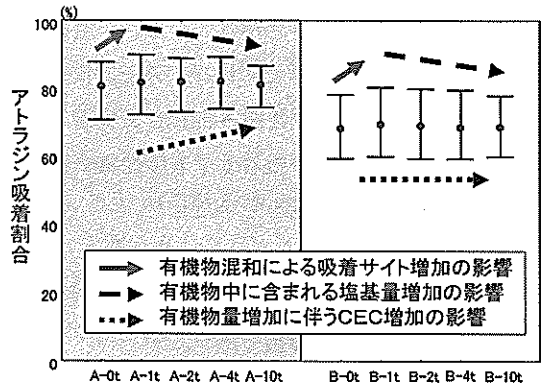


図-20 有機物施用量を増やしていった場合のアトラジンの吸着割合分布 (DAR)  
A: 黒ボク土, B: 褐色低地土

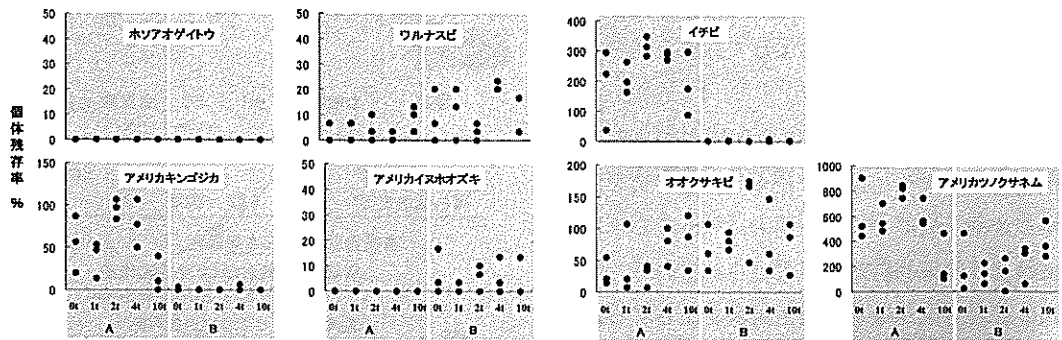


図-19 有機物施用量を増やしていった場合の主要雑草に対するアトラジン感受性  
A: 黒ボク土, B: 褐色低地土

表-3 有機物施用量を増やしていった場合の供試土壌の理化学性の変化 A: 黒ボク土, B: 褐色低地土

		A-0t	A-1t	A-2t	A-4t	A-10t	B-0t	B-1t	B-2t	B-4t	B-10t
pH	土液比1:5	5.87	5.42	5.46	5.57	5.68	6.52	6.53	6.54	6.52	6.55
EC	mS cm <sup>-1</sup>	0.10	0.12	0.13	0.17	0.33	0.09	0.11	0.13	0.17	0.29
全炭素	%	8.3	8.4	8.5	9.1	8.7	3.7	4.0	3.9	4.0	4.2
C/N		17.3	17.5	17.3	17.4	17.0	12.2	12.4	12.2	12.4	12.6
CEC	cmol(+)kg <sup>-1</sup>	17.1	19.7	19.2	22.4	22.8	14.7	13.8	15.0	14.1	15.3
塩基飽和度	%	20.2	19.9	26.1	31.2	49.5	125.2	144.3	137.0	155.3	161.4

量の増加によってアトラジンが吸着しにくくなる理由の裏付けが取れた。

#### 4. おわりに

除草剤の土壌吸着に関する研究では、有機物の量と質が影響するという結果が多かった。しかし、土壌という吸着材の立場から除草剤の土壌吸着現象を考察すると、除草剤の吸着挙動を左右する大きな要因として、有機物だけでなく、交換性塩基類の影響を詳細に表すことができた。どのように除草剤をコントロールするか？という問題を解決する上で、吸着だけでなく、脱着や土壌表面の状態を評価し、実際に土壌の性質を考えて、除草剤を環境にやさしく使用できるような技術に結びつけられるようにすることは重要である。除草剤の種類は多く、問題は山積しているが、現場で起きている除草剤の除草効果を解釈するのに少しでも役立てば幸いである。

#### 引用文献

赤塚尹巳: 新農薬学概論, 本田博ら編, 朝倉書店, pp.1-13, 1993.  
 金澤純: 農薬の環境科学, 合同出版, 東京, 1992.  
 H. H. Cheng (ed): "Pesticides in the Soil Environment: Process, Impacts, and Modeling", SSSA, Madison, 1998.

鍛塚昭三, 山本広基: 土と農薬, 社団法人日本植物防疫協会, 東京, 1998.

M. Ebato, K. Matusmura, and K. Yonebayashi (2002) *J. Pestic. Sci.* 27, 337-346.

E. Barriuso, D. A. Laird, W. C. Koskinen, and R. H. Dowdy (1994) *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 1632-1638.

R. Celis and W. C. Koskinen (1999) *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63, 1659-1666.

S. A. Clay, R. R. Allmaras, W. C. Koskinen, and D. L. Wyse (1988) *J. Environ. Qual.*, 17, 719-723.

S. A. Clay and W. C. Koskinen (1990) *Weed Sci.*, 38, 262-266.

J. M. Gonzalez and L. Ukranczyk (1996) *J. Environ. Qual.*, 25, 1186-1192.

R. Grover (1975) *Can. J. Soil Sci.*, 55, 127-135.

L. Ma, L. M. Southwick, G. H. Willis and H. M. Selim (1993) *Weed Sci.*, 41, 627-633.

B. T. Bowman and W. W. Sans (1985) *J. Environ. Qual.*, 14, 270-273.

M. Ebato and K. Yonebayashi (2003) *Soil Sci. Plant Nutr.*, 49, 677-683.

C. A. Seybold and W. Mersie (1996) *J. Environ. Qual.*, 25, 1179-1185.

S. U. Khan: "Developments in Soil Science 8 Soil Organic Matter," Elsevier Scientific Publishing, New York, pp. 137-171, 1978.

R. Calvet: "Interactions between Herbicides and the Soil," Academic Press, New York, pp. 1-30, 1980.

S. Tan and M. Singh (1995) J. Environ. Qual. 24, 970-972.

M. Ebato and K. Yonebayashi (2005) J. Pestic. Sci. 30, 220-224.

J. J. P. Stewart: MOPAC97, Fujitsu Ltd, Tokyo, 1998.

Fujitsu Ltd: WinMOPAC Ver.2.1, Fujitsu Ltd, Tokyo, 1998.

江波戸宗大ら (2005) 日本農薬学会第 30 回大会講演要旨集, 57

◆救荒雑草とは、我々が日常食べている農作物が、干ばつ・冷害・水害などのために稔らなかった凶作の年に、飢えを凌ぐのに役立った雑草のことです。

◆とかく駆除の対象となりがちな雑草の中には、薬草や食用となる種が多く存在します。本書では、それらの中から史実上記載のある種(救荒雑草)をまとめて掲載しました。

◆飽食の時代といわれる今日、戦中～戦後の食糧危機時を経験した世代が少数となり、救荒植物への興味が薄れ、スーパーや八百屋で販売されるものしか食べない世代へ変わりつつあり、食の歴史を考える上でも救荒植物として史実に残った植物を後世に残したい思いでつづった植物誌です。

◆身近な雑草を起点として救荒植物と接することができるように、草本植物を主に取りあげ、記載しました。

**全国農村教育協会**  
<http://www.zennokyo.co.jp>  
 〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6  
 TEL.03-3639-9160 FAX.03-3833-1665

**救荒雑草 [飢えを救った雑草たち]**  
 著者/佐合 隆一  
 A5判 192ページ  
 (内カラー口絵32p)  
 本体価格1,800円