

第Ⅱ章 砂質露地畑におけるパンライシメータ法によるクロロタロニル鉛直浸透量の測定

第1節 緒言

農耕地に施用された農薬は、その一部が土壌中を鉛直浸透して地下水を汚染することが懸念される。農薬による地下水汚染に対する規制としては、1997年に「地下水の水質の汚濁に係わる環境基準」が告示され、1,3-ジクロロプロペン、チウラム、シマジン、チオベンカルブの環境基準値が設定された（環境庁、1997）。今後、この基準値を遵守し、農薬による地下水汚染を未然に防止するために、農耕地における農薬の鉛直浸透の機作を明らかにする必要がある。

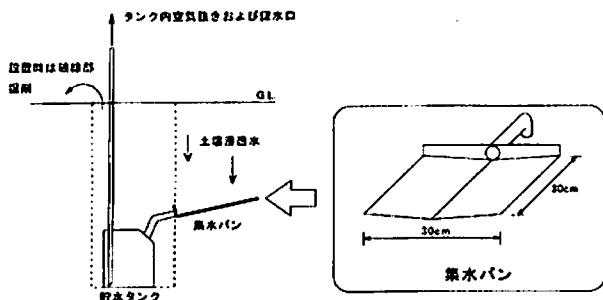
これまでに、土壌中における農薬の移動性は、土壌の有機炭素含量が少ないほど大きくなることが報告されている（McCallら、1980；奴田原・市原、1990）。千葉県の実験地である砂質露地畑は、他の畑耕地に比べて有機炭素含量が少なく、上記の知見から農薬が鉛直浸透しやすいと考えられる。また、実際の生産圃場では土壌中の粗大孔隙や大量降雨など、農薬の鉛直浸透がより生じやすい環境が存在する。

そこで、本章では、砂質露地畑において、クロロタロニルを始めとする農薬鉛直浸透の実態を明らかにするために、土壌の成層構造を破壊せず、壁面の影響が無い、パンライシメータ法（金子・山本、1999；金子ら、2002；山本ら、1997；山本、1999a；山本、1999b；山本、1999c；山本・金子、2000；山本、2004）を用いた試験を実施した。

第2節 材料および方法

1. パンライシメータの構造

パンライシメータの構造は、土壌浸透水を採取するステンレス製の集水パンとポリエチレン製の貯水タンクを



第2-1図 パンライシメータ概念図

接続したものとした（第2-1図）。集水パンは一辺30cmの正方形で、一辺に高さ3cmの壁を立て、その直角方向中央を2度の角度で折り曲げた。壁中央には穴を開けて直径3cmの管を接続し、内部にロックウールを充填して採水管とした。集水パンの設置方法は、縦穴を掘削後、地表面から深さ50cmの土壌断面に約5度の傾斜をつけて挿入した。貯水タンク内の土壌浸透水の採水は、ビニールチューブを空気抜き用の塩化ビニル製パイプからタンク底面に通し、真空ポンプ（サンケイ理化社製SK-5401型）で吸引して行った。

2. 試験区および耕種概要

試験場所は千葉県農業試験場（現 千葉県農林総合研究センター）砂地野菜研究室圃場（千葉県匝瑳郡野栄町、現 千葉県匝瑳市）とした。土壌は中粗粒褐色低地土（長崎統）であり、その理化学性は、土性が砂土、有機炭素含量が 12g kg^{-1} 、粘土含量が 41g kg^{-1} 、CECが 9cmolc kg^{-1} 、全孔隙率が $0.547\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ 、仮比重が1.264である（千葉県、1978）。試験圃場の面積は 35m^2 （ $7 \times 5\text{m}$ ）とし、圃場中央にパンライシメータを設置した（1995年8月23日）。

試験期間は、供試農薬を散布した1996年6月18日から10月21日までの125日間とし、採水日を農薬施用3、10、20、24、34、62、94、101、125日後とした。

耕種概要は、集水パン直上に畦が位置するように、畦高30cm、畦間100cmの畦立てをし、供試農薬を施用後、慣行の栽培法によりサツマイモを栽培した。

3. 供試薬剤

供試農薬は、クロロタロニル40.0%フロアブル剤（施用量は成分換算で 80mg m^{-2} 、水溶解度 0.9mg L^{-1} （金澤、1996）、以下、表記同じ）とし、比較対照のためにシマジン1.0%粒剤（ 80mg m^{-2} 、 6.2mg L^{-1} ）、ダイアジノン40.0%乳剤（ 80mg m^{-2} 、 40mg L^{-1} ）、メトラクロール45.0%乳剤（ 180mg m^{-2} 、 488mg L^{-1} ）、ジメトエート43.0%乳剤（ 86mg m^{-2} 、 $25,000\text{mg L}^{-1}$ ）を用いた（第2-1表）。乳剤とフロアブル剤の施用は、水10Lで希釈して試験圃場全面に行った。

また、農薬の土壌中における移動性を評価するために、トレーサーとして塩素イオン（以下、 Cl^- ）を使用し、農薬施用直後に2.5%塩化カリウム溶液20Lを試験圃場全面に施用した。

4. 分析法

採取した土壌浸透水は、ガラス瓶に約1L分取して分析に供した。各供試農薬は、試料400mLに塩化ナトリウ

第2-1表 供試農薬一覧

一般名	農水省登録名	商品名	有効成分含有量 (%)	散布量 (有効成分 mg m^{-2})	水溶解度 ^a (mg L^{-1})
クロロタロニル	TPN	ダコニール1000	40.0	80	0.9
シマジン	CAT	シマジン粒剤I	1.0	80	6.2
ダイアジノン	ダイアジノン	ダイアジノン乳剤40	40.0	80	40
メトラクロール	メトラクロール	デュアール乳剤	45.0	180	488
ジメトエート	ジメトエート	ジメトエート乳剤	43.0	86	25000

*金澤 (1996) より引用。

μ40gを加え、ジクロロメタンで転溶後、脱水・濃縮し、2 mLのアセトンで定容とし、ガスクロマトグラフ(ヒューレットパッカード社製HP-6890、検出器NPD、分離カラムDB-1701)を用いて定量した。検出限界値はクロロタロニル $3 \mu\text{g L}^{-1}$ 、シマジン $0.5 \mu\text{g L}^{-1}$ 、ダイアジノン $0.05 \mu\text{g L}^{-1}$ 、メトラクロール $3 \mu\text{g L}^{-1}$ 、ジメトエート $0.3 \mu\text{g L}^{-1}$ であった。Cl⁻の定量は、チオシアン酸第二水銀比色法で発色後、オートアナライザー(テクニコン社製TRAACS-800型)を用いて定量した。

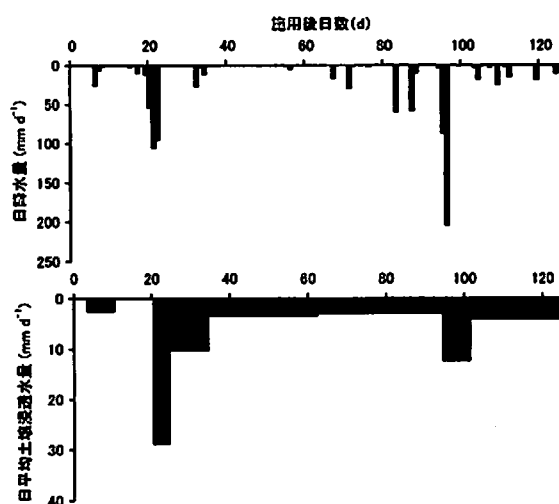
また、試験終了時に、パンライシメータ直上の土壌を深さ10cmごとに採取し、供試農薬の土壌残留濃度を測定した。各供試農薬は、生土30gからアセトンと水の混合液で抽出し、アセトン留去後ジクロロメタンで転溶し、脱水・濃縮後、2 mLのアセトンで定容とし、土壌浸透水と同様に定量した。検出限界はクロロタロニル $40 \mu\text{g kg}^{-1}$ 、シマジン $7 \mu\text{g kg}^{-1}$ 、ダイアジノン $0.7 \mu\text{g kg}^{-1}$ 、メトラクロール $40 \mu\text{g kg}^{-1}$ 、ジメトエート $4 \mu\text{g kg}^{-1}$ であった。

第3節 結果

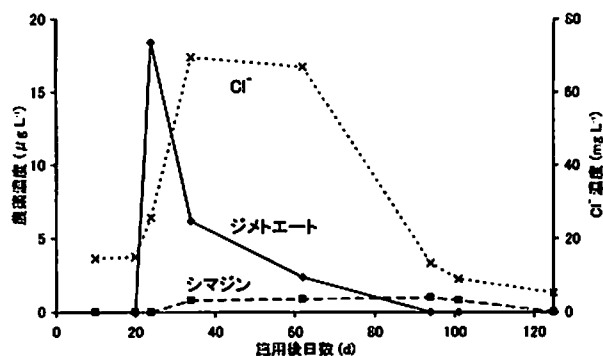
1. 土壌浸透水量

試験期間中に採取された総土壌浸透水量は608.2mmであり、総降水量938mmの65%に相当した。

また、土壌浸透水量の経時的な変化を評価するために、土壌浸透水量を採水間隔日数で除し、日平均土壌浸透水量を算出した(第2-2図)。試験期間中において、大量降雨が農薬施用21日後と96日後に発生し、降雨開始から降雨終了までの降水量は、それぞれ266.0mm(農薬散布19~22日後)と295.7mm(農薬散布94~96日後)であった。これらの大量降雨により畦間が湛水し、表面流出水が発生した。日平均土壌浸透水量は、2回の大量降雨に対応し、農薬施用21日後から24日後および95日後から101日後に顕著に増加した(第2-2図)。



第2-2図 日降水量および日平均土壌浸透水量



第2-3図 土壌浸透水中の農薬およびCl⁻濃度

2. 土壌浸透水中の農薬および塩素濃度

試験期間を通じて、土壌浸透水中からクロロタロニル、ダイアジノンおよびメトラクロールは検出されなかった。一方、土壌浸透水中のジメトエート濃度は、農薬施用24日後に最高濃度の $18.4 \mu\text{g L}^{-1}$ に達し、その後低下して94日後には検出限界以下となった。また、シマジン濃度は、農薬施用34日後から101日後までの期間に $0.8 \mu\text{g L}^{-1}$ から $1.0 \mu\text{g L}^{-1}$ の範囲で推移し、125日後に検出限界値以下となった(第2-3図)。

土壌浸透水中の Cl^- 濃度は、農薬施用10日後は 14.6 mg L^{-1} であったが、24日後に 25.7 mg L^{-1} と上昇し、34日後には最高濃度の 69.5 mg L^{-1} に達し、94日後には 13.4 mg L^{-1} に低下した（第2-3図）。

3. 農薬鉛直浸透量

農薬濃度と土壌浸透水量の積を農薬鉛直浸透量とし、農薬散布量に対する農薬鉛直浸透量の割合を流出率とした。その結果、試験期間中における総農薬鉛直浸透量は、ジメトエートが 2.99 mg m^{-2} 、シマジンが 0.33 mg m^{-2} となり、流出率はそれぞれ3.5%と0.4%であった。

また、ジメトエートとシマジンの鉛直浸透量の経時的な変化を評価するために、両農薬濃度に日平均土壌浸透水量を乗じ、日平均鉛直浸透量を算出した（第2-4図）。ジメトエートとシマジンの日平均鉛直浸透量は、大量降雨に対応して増加した。特に、農薬施用21日後から24日後におけるジメトエートの日平均鉛直浸透量は、散布21日後の大量降雨に対応して顕著に増加した。

4. 土壌残留農薬量

試験終了時の土壌残留濃度は、クロロタロニルはいずれの土層においても検出されなかった。その他の農薬では、メトラクロールの深さ0~10cmおよび10~20cmにおける $90 \mu\text{g kg}^{-1}$ が最も高く、次いでシマジンの深さ10~20cmにおける $61 \mu\text{g kg}^{-1}$ が高かった（第2-5図）。

供試農薬の土壌残留濃度に各土層の体積と仮比重を乗じ、5層の総和を圃場単位面積あたりの土壌残留農薬量とし、農薬施用量に対する土壌残留農薬量の割合を土壌残留率とした。その結果、土壌残留農薬量はジメトエートが 1.5 mg m^{-2} 、メトラクロールが 20 mg m^{-2} 、ダイアジノンが 0.53 mg m^{-2} 、シマジンが 13.4 mg m^{-2} となり、土壌残留率はそれぞれ1.7%、10%、0.66%、および17%であった。

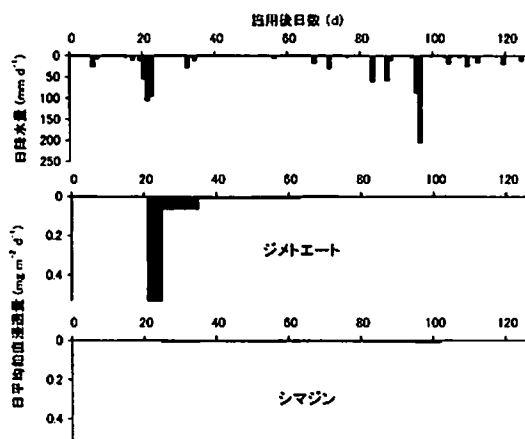
第4節 考察

1. 砂質露地畑における農薬鉛直浸透状況

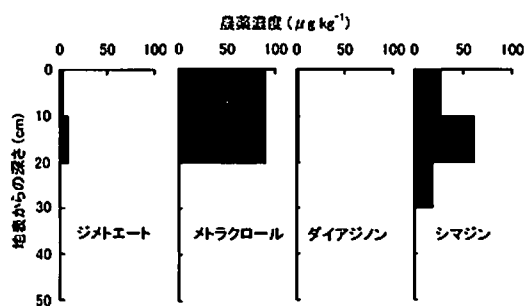
クロロタロニルは、試験期間中に土壌浸透水から検出されず、また、試験終了時の土壌中からも検出されなかった。このことから、砂質露地畑においてクロロタロニルが鉛直浸透し、地下水まで到達する可能性は低いと考えられた。

農薬の土壌有機炭素吸着定数（Koc）と土壌中半減期は、農薬の鉛直浸透に大きく影響するといわれている（Gustafson, 1989；鉄塚・山本, 1998）。一方、非イオン性農薬は、水溶解度とKocの間に負の相関があることが知られている（Kanazawa, 1989）。本研究において供試したクロロタロニル、ダイアジノン、メトラクロール及びジメトエートは非イオン性農薬であり、この中で水溶解度が最も高いジメトエートはKocが最も低いと考えられる。以上から、ジメトエートは、土壌に吸着されにくいために鉛直浸透が認められたと考えられた。また、シマジンは、水溶解度がメトラクロールとダイアジノンより低いにもかかわらず鉛直浸透が認められた。この理由としては、シマジンの土壌中半減期が、試験終了時の土壌残留率から供試農薬の中で最も長いと推定されることや、シマジンの土壌吸着特性が側鎖にあるNH基の影響で他の供試農薬と異なることなどが考えられるが、今後検討する必要がある。

本研究においてトレーサーとして用いた Cl^- は、土壌中において水とほぼ同時に移動する（佐久間ら, 1976）。土壌浸透水中におけるジメトエートと Cl^- の濃度推移を比較すると、ジメトエート濃度は、 Cl^- 濃度が上昇し始めた農薬施用24日後に最高値 $18.4 \mu\text{g L}^{-1}$ に達し、 Cl^- が最高値に達した34日後以降は急激に減少した。これらのことから、ジメトエートは、土壌中の湿润前線において高濃度であったと考えられ、砂質露地畑における移動性が極めて高いと考えられた。これに対し、土壌浸透水中におけるシマジンの濃度推移は、ジメトエートと比べて検出時期が農薬施用34日後から101日後と遅延し、濃度が最高値で $1.0 \mu\text{g L}^{-1}$ と低く、ピークの形状が不明瞭で



第2-4図 日降水量と農薬の日平均鉛直浸透量



第2-5図 試験終了時（施用125日後）における土壌中の農薬濃度

あった。このことから、シマジンはジメトエートよりも砂質土における移動性が低いと考えられた。

また、ジメトエートの日平均鉛直浸透量は、農業施用21日後の大量降雨に対応して顕著に増加した。このことから、砂質露地畑における農業鉛直浸透に影響を及ぼす重要な要因として、農業施用後の降雨条件が考えられた。

試験終了時における供試農業の土壌残留率は、シマジンとメトラクロールが10%以上と高かった。このことから、砂質露地畑においてこれら農業の鉛直浸透量を測定する場合は、試験期間をさらに長くする必要があると考えられた。

2. パンライシメータ法の有効性と課題

今後、農業による地下水汚染を未然に防止するために、農家の圃場において農業の鉛直浸透量を調査する必要がある。しかし、従来の土壌浸透水採取方法であるライシメータ法は、側壁が地上に露出するため通常の耕うん作業が不可能であり、農家の圃場における調査は困難であった。また、ライシメータ法は土壌の成層構造を破壊す

る上、壁面の影響により農業の鉛直浸透量を過大評価しやすい短所があった(高木ら、2001)。これに対し、パンライシメータ法の長所は、通常の耕うん作業が可能で農家の圃場における調査が容易であること、土壌の成層構造を破壊しないこと、壁面の影響が無いことが挙げられる。パンライシメータ法の短所は、集水パン上部で発生した重力水域の土壌浸透水を採取しており(金子・山本、1999)、それより高いpF域の土壌浸透水を採取しにくいことである。しかし、砂質露地畑を用いた本研究において、総土壌浸透水量は総降水量の65%に相当し、日平均土壌浸透水量は日降水量に対応した変化が認められた。

以上のことから、パンライシメータ法は、砂質露地畑における農業鉛直浸透量を調査する手法として有効と考えられた。今後は、農家の圃場において利用できる特徴を生かしながら、パンライシメータ法の集水特性をさらに改善することが必要であろう。