

## 水田における農薬の流出実態と数理モデル (PADDY) 予測の可能性

伊藤和子\*

**摘要：** 宇都宮市姿川流域の河川における農薬濃度を調査し、水田からの農薬流出率を試算した。除草剤のベンチオカーブ及びエスプロカルブは調査期間（4月～9月）を通じて検出されたが、航空散布されたフサライド及びエトフェンプロックスは、散布3日後にはほとんど検出されなくなった。また、除草剤の農薬流出率は、農薬の水溶解度が高いほど高くなる傾向がみられた。殺虫剤・殺菌剤の農薬流出率と水溶解度との関連はみられなかった。調査水田からのベンチオカーブ及びフサライドの流出率は、農薬水田圃場モデル（PADDY）を用いた推定値に極めて近かった。

**キーワード：** 水稻，航空散布，農薬の流出率，農薬水田圃場モデル（PADDY）

## Runoff of Pesticides from Rice Paddy Fields and Evaluation of Runoff Estimates made using the Pesticide Paddy Field Model(PADDY)

Kazuko ITOH

**Summary：** A Survey of concentrations of pesticide residues was conducted in the Sugata River, which flows through a rice-growing area of Utsunomiya City. The runoff rates of pesticides from rice paddy fields were estimated from the results of the survey. The herbicides thiobencarb and esprocarb were detected in the river in the whole survey period of April through September. In contrast, the fungicide phthalide and the insecticide etofenprox, both sprayed by aerial application, were detected for only 3 days after the application. It was shown that the greater a herbicide's solubility in water, the higher its runoff rate. For insecticides and fungicides, no clear correlation was detected between the runoff rates and water-solubility. The runoff rates of thiobencarb and phthalide from the test field were very close to the values estimated by the simulation program Pesticide Paddy Field Model(PADDY).

**Key words：** rice paddy field, aerially-sprayed pesticides, runoff rate, Pesticide Paddy Field Model(PADDY)

## I 緒言

除草剤の使用及び航空機による防除は、水稻栽培の省力化に大きく貢献してきた。その反面、農薬の流出や飛散などにより、水環境へ影響を及ぼしている。このため、日本では、農薬の水環境への影響について、水田を中心として多くの調査がなされてきた<sup>1,7-10,13,14,16)</sup>。農薬の挙動は、気象条件や散布方法及び作物の生長量など、さまざまな要因に影響されることから、実測データを一般化することが難しい。しかし、散布された農薬の水環境への影響を適切に評価するために、多くの調査を積み重ねて、水田に散布した農薬の消長を予測することができるモデル[農薬水田圃場モデル(PADDY)]が開発された<sup>2,9)</sup>。

本研究では、特定地域内の河川水及び限定した水田における、航空防除と地上散布による散布後の農薬残留量を調査し、農薬の流出量を算出した。PADDYを完成されたものとするためには、さらに数多くの情報が必要とされており、筆者が調査した結果とPADDYを用いての算出結果とを比較し、水田での農薬の動態予測について検討したので報告する。

## II 試験方法

### 1. 調査地区

以下に記す地域において、1998年、1999年に調査を行った。調査地区は、宇都宮市西部に位置する姿川流域で、概略を第1図に示した。調査地点①は鎧川、②は姿川上流、③は赤川上流、④は姿川・赤川合流地点、⑤は姿川下流である。また、姿川・赤川合流地点近傍の上流地点に調査水田(第2図)を設置した。

### 2. 農薬散布の概要と調査農薬

調査地域である宇都宮市では、水稻の移植は主に5月上旬に行われる。調査地区の農薬散布実態について、JA宇都宮の協力を得て、1998年に調査地点①・②・③地点と④地点間の水稻作付農家に対し、アンケート調査を行った。1999年には、JA宇都宮西部地区における農薬出荷状況を把握した。河川での調査対象農薬は、使用量の多い除草剤である、エスプロカルブ、シメトリン、プレチラクロール、ベンチオカーブ、及び航空散布農薬のエトフェンプロックス(殺虫剤)とフサライド(殺菌剤)とした。調査地区の航空散布実施日は、1998年が8月3日、1999年が8月4日であった。なお、1999年には、殺虫剤のピリダフェンチオン、フェノブカルブ及びダイアジノン、殺菌剤のフルトラニル、イソプロチオラン及

びイプロベンホスについても残留量を測定した。

また、調査水田においては、中期除草剤(クミリード粒剤: MCPB0.8%, シメトリン1.5%, ベンチオカーブ10%)が使用されており、航空散布が行なわれていた。調査対象農薬は、除草剤の調査結果から最も濃度が高く、使用量が多かったベンチオカーブ、及び、航空散布されたエトフェンプロックス、フサライドとした。

調査農薬の水溶解度<sup>4,5)</sup>を第2表に示した。

### 3. 試料採取方法

各調査地点で河川の幅・深さともに中間地点より約1L採水し、分析試料とした。河川流量は、試料採取日にそれぞれの河川の幅及び深さを測定し、広井電気式流速計またはプライス電気式流速計を用いて幅1mごとに流量を測定し、それを積算して算出した。

また、調査水田では、取水口・田面水・排水口から試料を採取した。取水口からは、約1Lを採水して試料とした。取水口における流量は、流れがゆるやかであるため、測定不能であった。田面水は、調査水田の5ヶ所より約200mLずつ採水し、よく混和して試料とした。排水口からは、約500mL~1Lを採水して試料とした。また、排水口からの流出量は、採水に要した時間を測定することにより算出した。

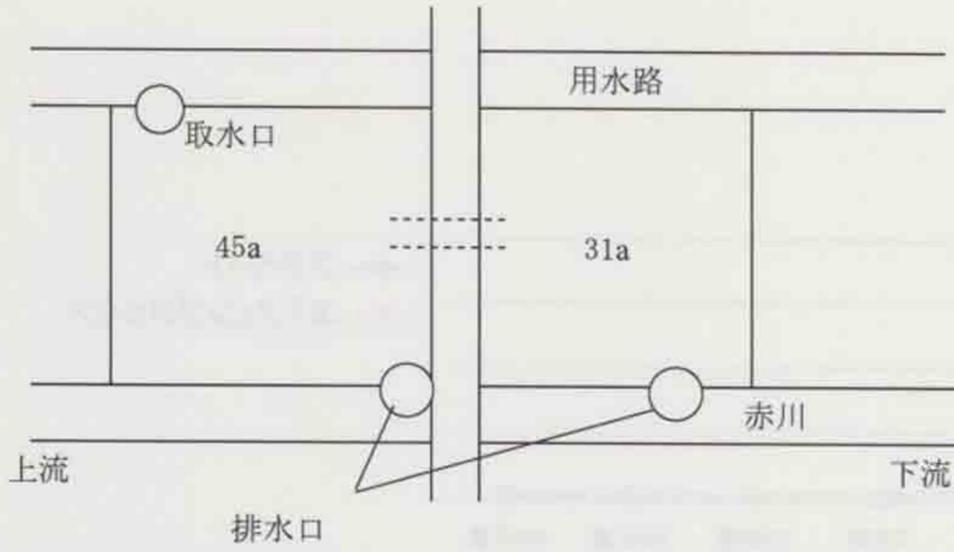
1998年の採水は、除草剤が使用される5~6月に13回、航空散布が行なわれる7~8月に8回行なった。1999年の採水は、4月末から9月上旬まで合計29回行なった。

### 4. 流出率算出方法

1998年のアンケート調査結果を第1表に示した。アンケート対象農家のこの地域における水稻作付面積は約21%であった。散布量の計算は以下のように行った。各農薬はすべての農家で散布されたわけではないため、それぞれの農薬のアンケート調査地域での散布率(面積での比率)を①、②地点から④地点間、③地点から④地点間で別々に計算した。そして、調査地域全体でも同様の比率で散布が行われたと仮定し、アンケートで得られた散布量から比例計算によって①・②・③地点から④地点間の総散布量を算出した。また、調査実施日ごとに、④地点の流出量から①・②・③地点の流出量を差し引いた地点間流出量のグラフを作成し、その面積を計算して総流出量とした。そして、この値の総散布量に対する割合を流出率とした。1999年は、流出率を算出する地域を①・②・③地点から⑤地点間とした。

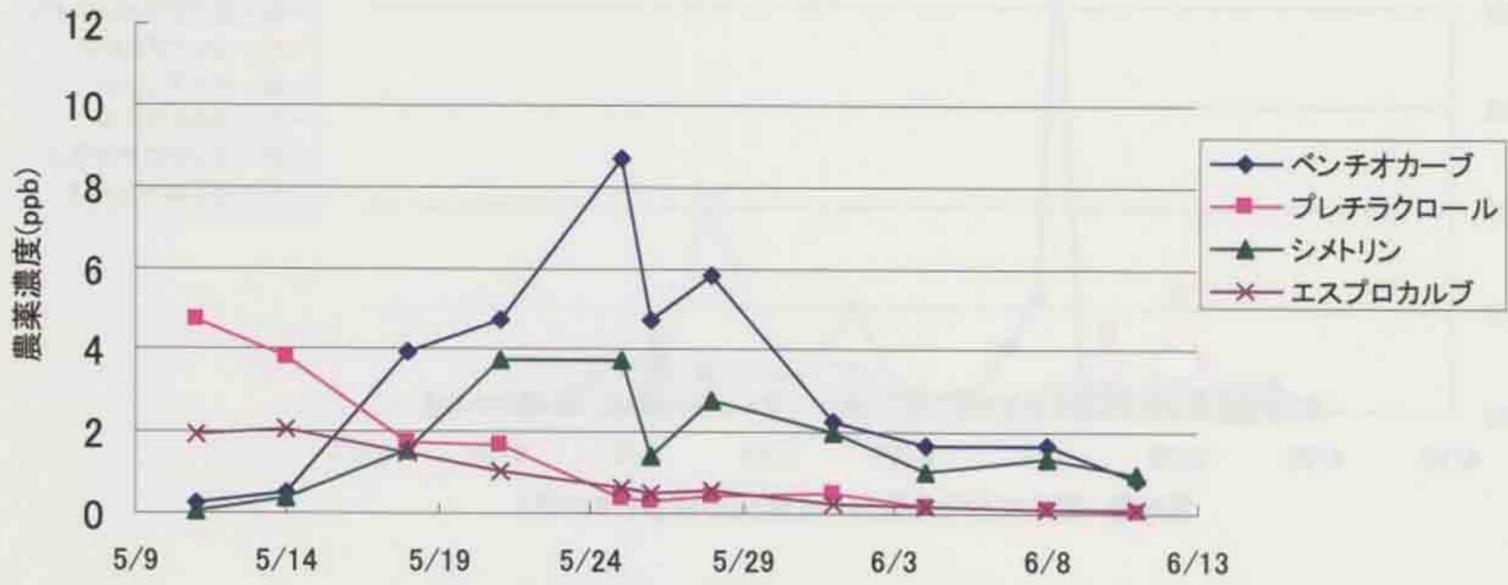
### 5. 農薬水田圃場モデル(PADDY)との比較

調査水田は第2図のとおり2面からなり、合計面積は76aである。土壌は灰色低地土に属し、仮比重0.90、孔隙率66.2%及び有機炭素含量3.53%である<sup>15)</sup>。調査水田

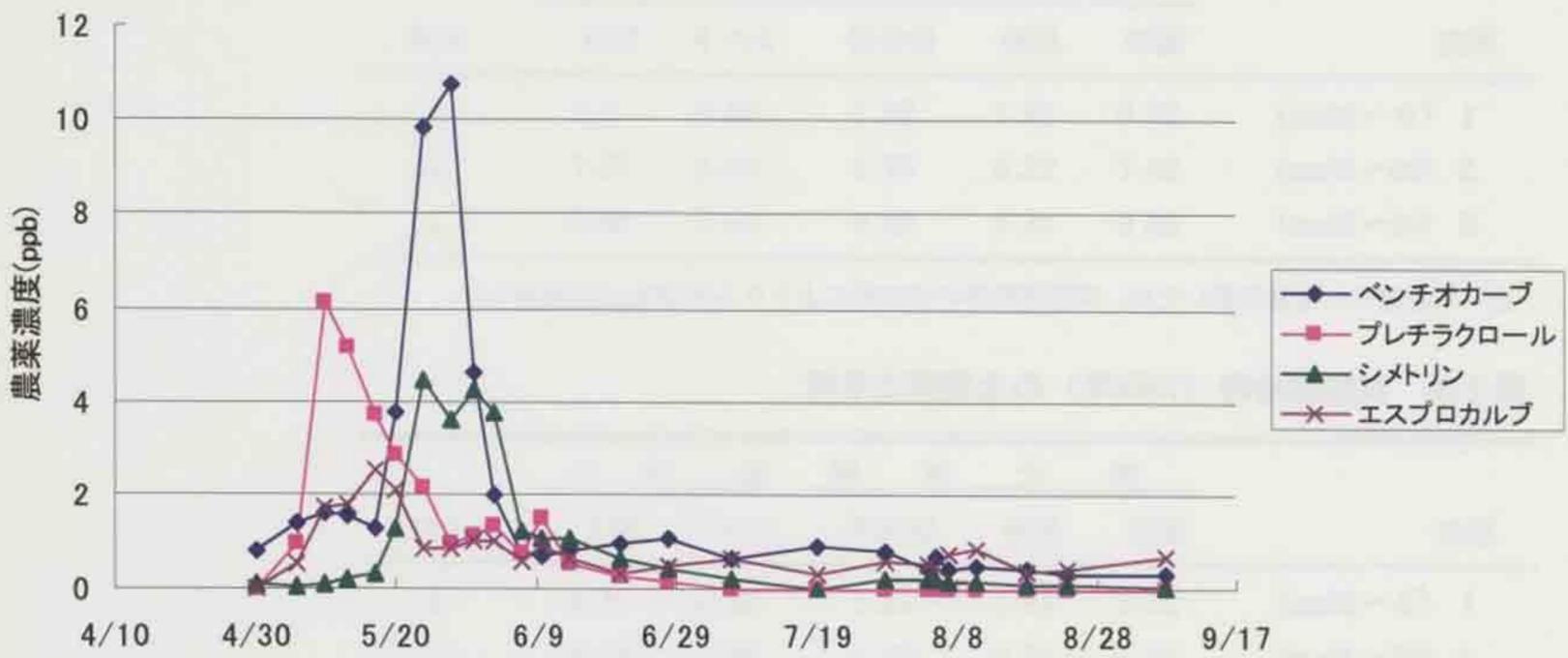


注. 調査水田は2面に分かれており、点線部分に灌漑路がある。

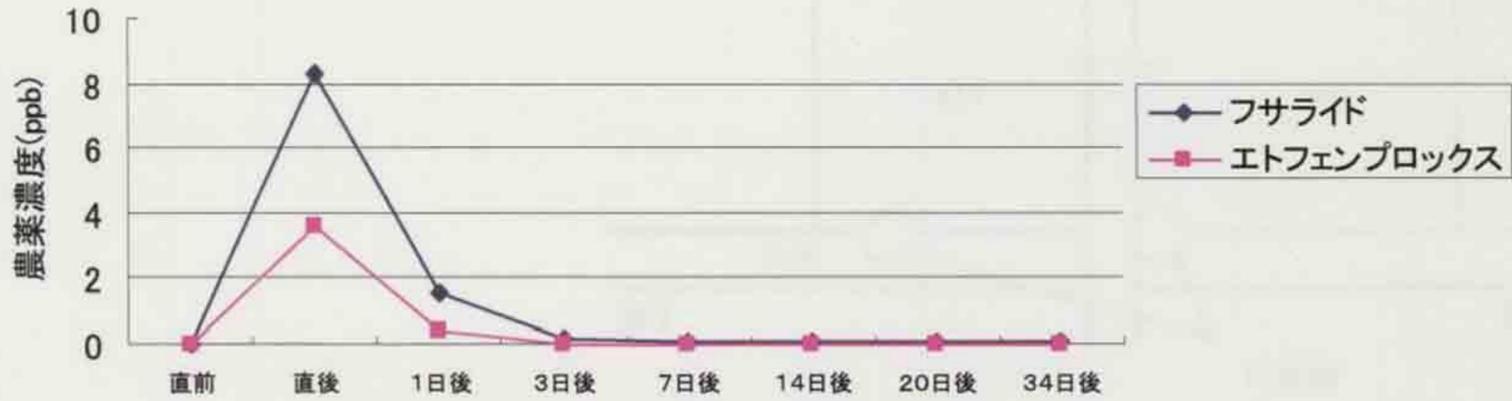
第2図 調査水田



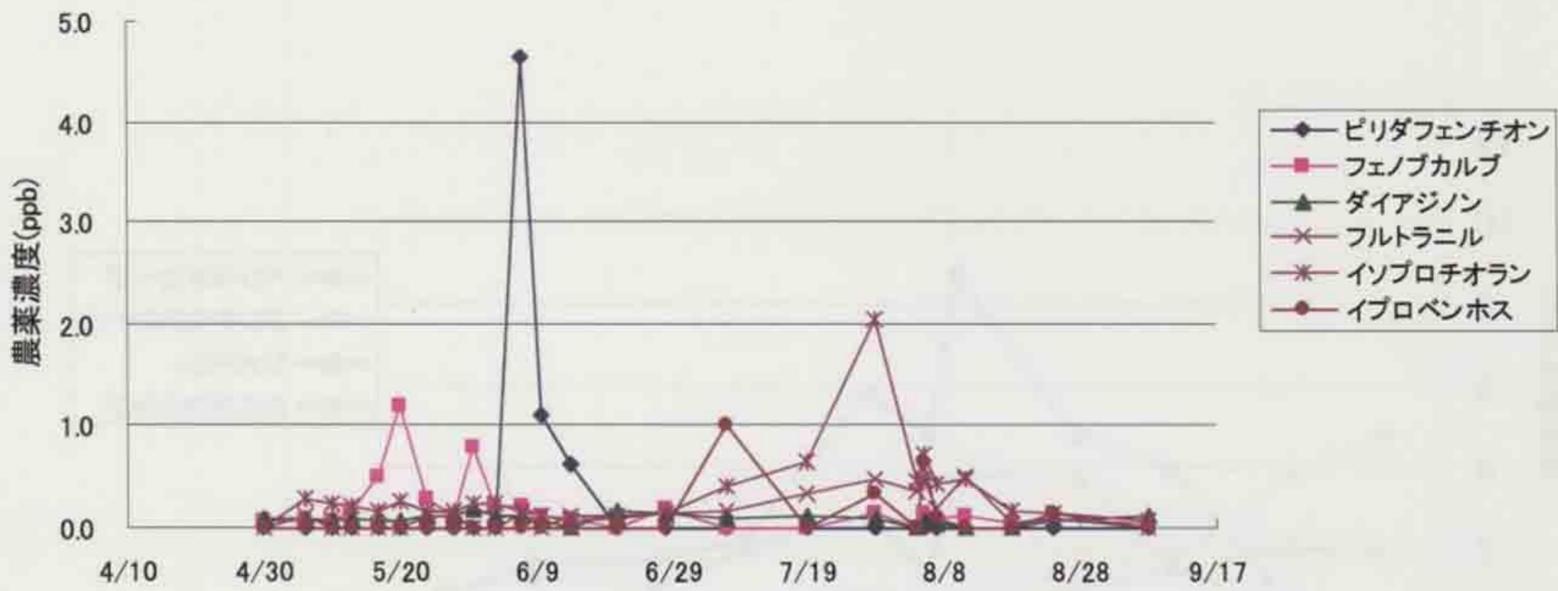
第3図 河川における水田用除草剤の消長(1998年)



第4図 河川における水田用除草剤の消長(1999年)



第5図 航空散布した農薬の消長(1999年)



第6図 河川における殺虫・殺菌剤の消長(1999年)

第1表 試験開始時(1984年)の土壤理化学性

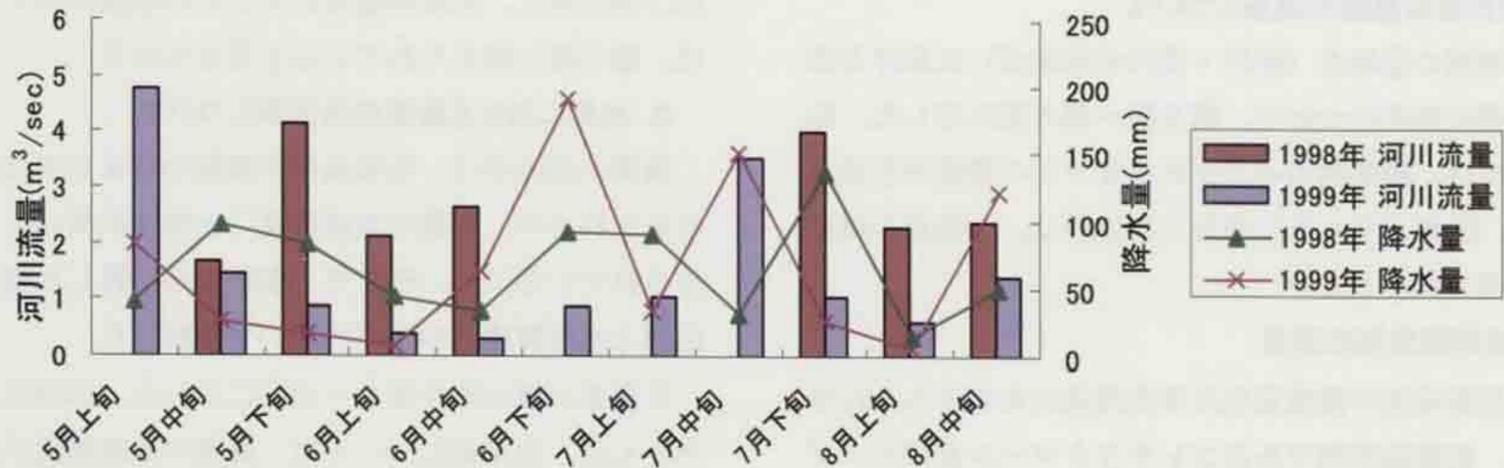
層位	細 土 無 機 物 中 %					土性
	粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土	
1 (0~20cm)	23.0	29.1	52.1	38.8	9.2	L
2 (20~40cm)	29.7	27.6	57.3	30.1	12.7	L
3 (40~80cm)	39.5	21.4	60.9	28.7	10.5	L

注 可給態りん酸量が低いため、試験開始時の1984年によりりんを600kg/10a施用した。

第2表 試験開始時(1984年)の土壤理化学性

層位	細 土 無 機 物 中 %					土性
	粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土	
1 (0~20cm)	23.0	29.1	52.1	38.8	9.2	L
2 (20~40cm)	29.7	27.6	57.3	30.1	12.7	L
3 (40~80cm)	39.5	21.4	60.9	28.7	10.5	L

注 可給態りん酸量が低いため、試験開始時の1984年によりりんを600kg/10a施用した。



第7図 降水量と河川流量

注1) 河川流量は、④地点の平均値。

2) 1998年の河川流量は、測定した時期のみ示した。

第2表 河川における調査対象農薬の水溶解度、実測値の平均値(1999年)及び基準値

	水溶解度(ppm)	実測値 <sup>1)</sup> の平均値(ppb)	基準値 <sup>2)</sup> (ppb)	実測値が基準値に占める割合(%)
<b>除草剤</b>				
ベンチカーブ	30	1.90	20	9.5
ブレチラクロール	50	1.11	40	2.8
シメリン	450	0.96	60	1.6
エスプロカルブ	4.9	0.84	10	8.4
<b>空散農薬</b>				
フサライド	2.5	0.41	100	0.4
エトフェンプロックス	0.001	0.16	80	0.2
<b>殺虫・殺菌剤</b>				
ピリタフェンチオン	74	0.25	2	12.7
フェノプロカルブ	660	0.19	20	1.0
ダイアジノン	40	0.09	5	1.8
フルトラニル	9.6	0.14	200	0.1
イプロロチオラン	48	0.33	40	0.8
イプロペンホス	430	0.09	8	1.1

注1) 調査地点④における実測値。

2) ベンチカーブは環境基準値、フェノプロカルブ・ダイアジノン・イプロロチオラン・イプロペンホスは要監視項目の指針値、  
その他は公共用水域等における水質評価指針値。

からの農薬の流出率を算出した結果(1999年)とPADDYによる計算値による適合性について、比較・検討を行ない、農薬動態の予測の可能性の有無を検討した。また、フサライドの流出率をPADDYにより計算する際、水面への落下率を30%として計算値を補正した<sup>12)</sup>。

#### 6. 農薬分析方法

農薬の定量分析は、試料水400mLに塩化ナトリウム25gを加え、ジクロロメタン100mLで2回抽出を行い、脱水、溶媒留去後アセトンで定容し、ガスクロマトグラフ質量

分析計に注入して、Selected Ion Monitoring(SIM)モードで定量を行った。モニタリングイオン等については、農水省の簡易同時分析技術確立事業報告書<sup>11)</sup>を参考にした。ガスクロマトグラフ質量分析計は、Hewlett Packard 6890 Series (ガスクロマトグラフ)、Hewlett Packard 5973 Mass Selective Detector (質量分析計)を用い、分離カラムは、キャピラリーカラム(HP-5MS、内径0.25mm、長さ30m、HewlettPackard社製)を使用した。

### Ⅲ 結果及び考察

#### 1. 河川水の農薬の消長について

調査地域の④地点（赤川・姿川合流地点）における水田用農薬の消長について、第3図～第6図に示した。他の地点では、殺菌剤のイソプロチオランの濃度が④地点で4月、⑤地点で6月に高かった以外は、④地点とほぼ同様の消長を示した。

##### 1)水田用除草剤の消長

水田用除草剤の濃度変化に年次間差はあまりみられなかった。初期除草剤であるプレチラクロール及びエスプロカルブは、5月中旬前後に水中濃度が最大となった。また、中期除草剤であるベンチオカーブ及びシメトリンは、5月下旬に水中濃度が最大となった。これらの農薬の検出状況は、農薬散布に関するアンケート調査の結果と一致した。1999年においては、ベンチオカーブ及びエスプロカルブは、長期間にわたって検出された。また、水中最高濃度はベンチオカーブで、8～10ppbに達した。

##### 2)航空散布農薬の消長

エトフェンブロックスとフサライドの濃度は散布直後に最高値を示し、3日後には検出限界値近くまで減少した。1998年も同様の傾向を示した。水中最高濃度は、両年ともフサライドがエトフェンブロックスの2倍以上の濃度となった。これは、散布量においてフサライドがエトフェンブロックスの1.5倍であることと、水溶解度の違いによるものと考えられる。

##### 3)殺虫剤・殺菌剤の消長

殺虫剤のフェノブカルブ及びピリダフェンチオンは、水稻生育期間の比較的早い時期（5,6月）に検出され、殺菌剤のイプロベンホス、フルトラニルは、遅い時期（7月）に検出された。なお、殺菌剤のイソプロチオランは、地点によって濃度が高くなる時期に違いがみられ、殺虫剤のダイアジノンは、水稻生育期間中を通して低濃度であった。

##### 4)水質における各種基準値との比較

農薬による公共用水域等の水質汚濁防止に係る基準値については、環境基準・要監視項目及び公共用水域における農薬の水質評価指針で定められている。今回の調査地点④での水中最高濃度を基準値と比較すると、ピリダフェンチオンが1999年6月上旬に1回のみ、公共用水域における農薬の水質評価指針(2ppb)を超えた(第6図)。第7図に調査期間中の降水量と河川流量を示した。1999年6月上旬は降水量が少なかったため、河川水の流量が少なく、相対的に濃度が上昇したと考えられる。しかし、この基準は年間平均値で評価するものと定められている。

第2表に基準値と調査期間中の④地点における実測値の平均値を示した。実測値は、基準値に対し、0.1～12.7%であり、水田用農薬による人の健康に対する影響は、最小限に抑えられていると考えられる。

#### 2. 地域における農薬の流出率について

農薬の流出率は、気象条件や農薬のさまざまな物性に左右されるが、農薬の水溶解度<sup>8,9)</sup>と相関が高いことが報告されている<sup>7,8,10)</sup>。そこで、本研究で試算した農薬の流出率と水溶解度との関係について検討した。

各農薬の流出率を第8～10図に示した。1998年、1999年ともに、除草剤については、農薬の水溶解度が高いほど流出率は高い傾向がみられたが、殺虫剤・殺菌剤については、特にそのような傾向はみられなかった。この理由として、除草剤は粒剤として散布され、全量が田面水中に投入され、水溶解度の影響を大きく受けることが考えられる。一方、殺虫剤・殺菌剤は稲体上に残留することを考慮する必要があると考えられる。また、除草剤は散布時期が集中しているのに対して、殺虫剤・殺菌剤は、農家によって散布時期にかなりの幅が認められる。そのような散布条件の違いも、相関が低かった要因であると思われる。

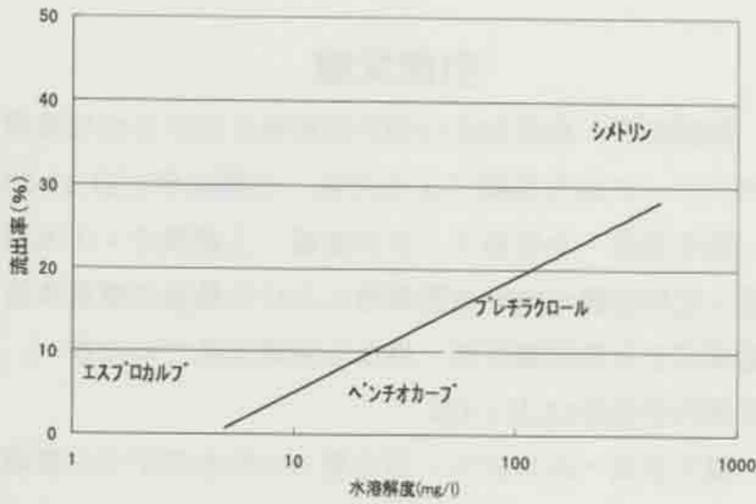
航空散布農薬の流出率を算出したところ、1998年ではエトフェンブロックスが0.88%、フサライドが2.73%であ

り、1999年ではエトフェンブロックスが0.21%、フサライドが0.44%であった。両年とも水溶解度が高いフサライドの流出率が高かった。また、調査年によって流出率に若干の違いがみられた原因として、1998年は調査地域に航空散布が行なわれた日に、上流の地域でも同時に航空散布が行なわれていたことが挙げられる。このことにより、河川への農薬の流入量が増加し、1998年は1999年よりみかけの流出率が高くなったと考えられる。

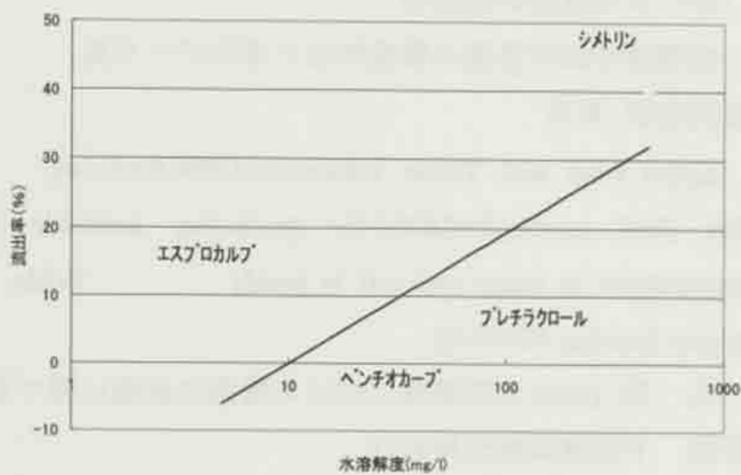
水環境に与える影響を最小限にするためには、散布直後の田面水の流出をできる限り少なくすることが必要である。そのため、大雨が降ることが予測される時などは散布日をずらすなどの配慮がなされるべきである。特に、水溶解度の高い農薬や、基準値が低く設定されている農薬には、注意が必要である。また、航空散布においては、同一流域での散布日が重ならないことが望ましいと考えられる。

#### 3. 調査水田からの農薬の流出率測定値とPADDYによる予測値との比較

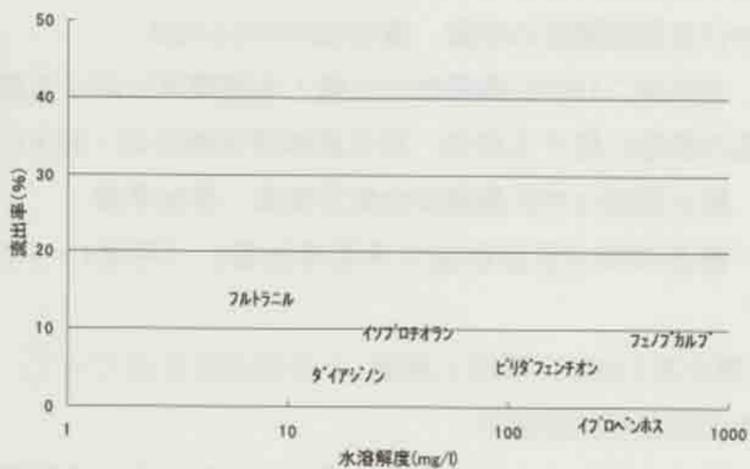
PADDYは、農薬有効成分の田面水への溶解、田面水と土壌間での吸脱着、田面水からの揮発、表面流出、田面水の降下浸透に伴う下方移動、田面水及び土壌中で



第8図 除草剤の水溶解度と流出率との関係 (1998年)



第9図 除草剤の水溶解度と流出率との関係 (1999年)



第10図 殺虫・殺菌剤の水溶解度と流出率との関係 (1999年)

第3表 調査水田(76a)からの流出率(1999年)

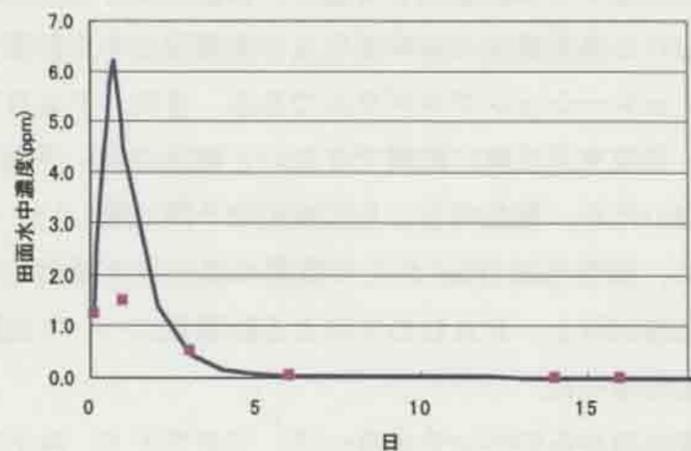
	流出率 算出日数	実測値(%)	PADDYによる 計算値(%)
ベンチオカーブ	14	2.09	1.27
フサライド	14	5.64	4.41
エトフェンプロックス	7	5.93	0.56

の分解に関する挙動要因を考慮し、田面水及び水田土壌中における農薬濃度の経時変化及び農薬流出率を計算するシミュレーションプログラムである。また、PADDYは、水収支が正確に把握できないと精度の良い予測はできないため、現在のところ広域的な予測は難しい。そのため、調査水田(76a)からの農薬の流出率を算出した結果(1999年)と、PADDYによる計算値について比較、検討を行なった。

調査水田からのベンチオカーブ、フサライド、エトフェンプロックスの流出率を調査した結果(1999年)と、農薬水田圃場モデル(PADDY)を用いて計算した結果を第3表に示した。ベンチオカーブ及びフサライドについては、実測値とPADDYでの計算値が近接していた。一方、エトフェンプロックスは、水溶解度が1ppb以下ときわめて低い農薬であるにもかかわらず、流出率実測値はフサライドと同程度であった。エトフェンプロックスの流出率については、高くなる傾向があること<sup>7)</sup>、また、田面水からは検出されず、表面流出水中からのみ検出されたという報告<sup>8)</sup>がある。エトフェンプロックスは水にほとんど溶解しないため、製剤中に農薬補助成分として含まれる油状成分などに溶解し、油状成分とともに流出したのではないかと考えられた。PADDYの計算ではこのような挙動は考慮していないため、計算値と実測値での違いが生じたと考えられる。

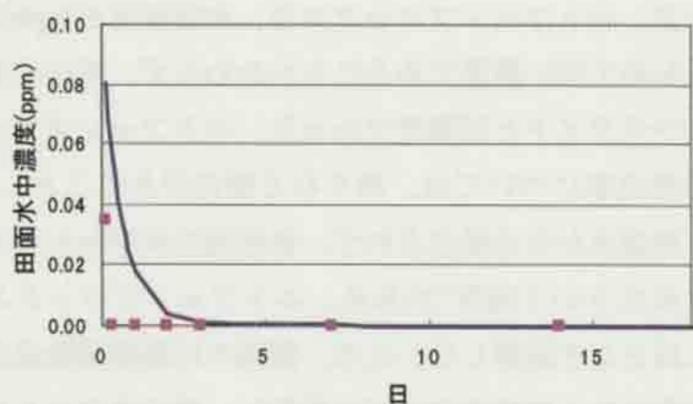
また、PADDYを用いたベンチオカーブとフサライドの田面水中の濃度変化の計算値と実測値を比較した(第11図・第12図)。その結果、ベンチオカーブでは、実測値の田面水中の最高濃度がPADDYによる計算値より低い値となった。この原因について、PADDYでは粒剤から溶出した農薬が、瞬時に田面水中に均一に分布するとして計算しているが、実際には、散布直後では散布条件や圃場の状況により、不均一に分布していたことが考えられる。散布直後以外のベンチオカーブ田面水中濃度については、かなり精度良く濃度変化を予測することがわかった。また、フサライドでは、実測値がPADDYによる計算値を下回っていた。この原因については、PADDYでは、散布された農薬はすべて水面に落下するものとして計算しているが、実際には、フサライドが散布される時期の水面はかなり水稻に覆われており、田面水に落下するのは一部分であるためと考えられる。今回、水面への落下率を約30%として<sup>12)</sup>計算値を補正している。

また、田面水中の濃度変化では計算値より実測値の方が低くなっているにもかかわらず、流出率は実測値の方が高くなった。この原因としては、流出率の計算におい



実線：PADDYによる計算値，点：実測値

第11図 ベンチオカーブの田面水中の濃度変化



実線：PADDYによる計算値，点：実測値

第12図 フサライドの田面水中の濃度変化

て水田排水量を求める際に、実測値では経時的に測定した値を用いたが、計算値では一定としたことが考えられる。

以上のことから、水田における農薬流出の予測精度を向上させるためには、散布方法及び散布時の水稻の生育状況等を考慮することが必要であると考えられる。今後は、さらに広範囲からの農薬の流出を計算できるモデル及び気象条件との関連を総合的に解析できるモデルの開発により、農薬の環境への影響を事前に予測、検討することが必要であると思われる。

### 謝 辞

本研究を行うにあたり、環境省 稲生圭哉氏には、PADDYでの計算法等をご指導いただいた。JA宇都宮の皆様には、アンケート調査等にご協力いただいた。ここに記して厚く感謝の意を表す。

### 引用文献

- 御厨初子・宮原和夫(1983)佐賀県における水田地帯のクリーク水の農薬による汚染. 生態化学6(2):23-33.
- 稲生圭哉・小原裕三・石井康雄・上路雅子・山本章吾・北村恭朗(1999)水稻栽培における農薬の環境負荷量推定と生態影響評価—異なる栽培体系での比較—. 環境科学会誌12:311-319.
- 稲生圭哉・山口吉久・市川豊(1995)水田中での農薬の挙動に関する研究(第四報). 日本農薬学会第20回大会講演要旨集
- 梶原敏宏ら 編(2001)農薬ハンドブック2001年版.(社)日本植物防疫協会
- 金澤純(1996)農薬の環境特性と毒性データ集. 合同出版 東京
- Keiya Inao and Yasuo Kitamura(1999)Pesticide paddy field model(PADDY)for predicting pesticide concentrations in water and soil in paddy fields. Pesticide Science 55:38-46
- 丸 論(1991)水系環境における農薬の動態に関する研究. 千葉農試特別報告18
- 水戸部英子・田辺顕子・川田邦明・坂井正昭(1997)空中散布による河川水中の農薬の挙動. 環境化学7:507-513
- 水戸部英子・茨木剛・田辺顕子・川田邦明・坂井正昭・貴船育英(1999)水田地域を流域とする河川水中における農薬濃度の挙動. 環境化学9:311-320
- 中村幸二(1993)農耕地の土壌・水圏環境における農薬の動態に関する研究. 埼玉農試研究報告46:30-61.
- 農水省編(1996)農薬安全使用推進・啓発事業「簡易同時分析技術確立事業報告書」(平成4~6年度)
- 櫻井壽(1982)「環境と農薬」その安全性をめぐって.(株)全国農村教育協会
- 清水克彦(2001)腐植含量の異なる水田における除草剤ベンチオカーブ, メフェセツ, ベンスルフロメチル, ピラゾスルフロネチルの挙動と消長. 兵庫農技研報(農業)49:35-40
- 鈴木聡(1992)水田に空中散布された農薬の消長. 栃木農試研報39:31-42
- 栃木農試編(1978)栃木県農耕地土壌の実態と改善対策. 166-167
- 山本幸洋・澤川隆・金子文宜・高崎強(1999)除草剤チオベンカルブの水田からの流出特性および流出抑制対策. 千葉農試研報40:51-54