

1. はじめに

河川・湖沼等の水域の環境問題として、昨今、富栄養化に加えて化学物質による微量汚染が取り上げられている。わが国において多量に使用されている化学物質の一つとして農薬があり、その多くが水田で使用されている。農耕地河川においては、流域内の水田での水稻移植が集中し、その後の農薬散布時期も集中することから、この時期に河川水中の農薬濃度が高くなる。また、水田施用農薬は、森林や農地等の面源からの栄養塩と同様に降雨時にも多量に流出すると考えられる。本研究では、水稻移植後の定時調査に加えて、除草剤散布時期に実施した降雨時調査の結果を基に、水田施用農薬の降雨時流出特性について検討を加えた。

2. 調査・分析の概要

図1に示した茨城県の霞ヶ浦流入河川である恋瀬川及び、その支川の6地点で1991年から、水稻移植後の詳細調査を実施している。この流域では、4月末から5月初めの連休中に水稻移植が集中し、その1～15日後に除草剤が散布される。除草剤散布時期に、St. 3において降雨時流出調査を1991年と1992年は1回、1993年は3回実施した。St. 3における流域面積は18.2km²、水田面積は1.66km²であり、流域の約9%が水田であった。また、流域の農協において農薬の出荷量調査を実施し、各調査地点までの使用量を算定した。

農薬分析用の試水は、褐色ガラス瓶に採水し水冷して持ち帰った。試水はガラス繊維フィルターろ紙（ワットマン、GF/C）を用いてろ過し、ろ液を固相抽出カートリッジ（ボンデエルト、C-18）に通した後、アセトン6mlで溶出させた。このアセトン溶液を、遠心濃縮機で1ml程度に濃縮した後、窒素ガスを吹き付けアセトンを気散させ、ヘキサン1mlを正確に加えた。その後、冷凍庫で水分を凍結除去し分析用試料とした。農薬の分析は、ガスクロマトグラフ（島津GC-17A、カラム：DB-1またはDB-5、検出器：FTD）を用い、検量線法で定量分析した。また、ガスクロマトグラフ質量分析計（島津QP-5000）を用いてマスペクトルの確認を行った。解析対象とした農薬は、除草剤がメフェナセット、エスプロカルブ、ブタクロール、プレチラクロール、殺虫剤がBPMC（フェノブカルブ）、MPP（フェンチオン）である。それぞれの農薬の回収率と検出限界濃度を表1にまとめて示す¹⁾が、70%以上の回収率が得られている。なお、後述する農薬濃度は回収率で補正は行っていない。また、懸濁態農薬は、降雨流出時に全体の10%程度を占めることもあるが²⁾、溶存態に比べて濃度が低いため、ここでは溶存態についてのみ解析を行った。

表1 農薬の回収率と検出限界

	回収率(%)	検出限界(μg/l)
メフェナセット	92.4	0.1
エスプロカルブ	74.9	0.1
ブタクロール	86.1	0.2
プレチラクロール	91.0	0.1
BPMC	85.9	0.1
MPP	70.5	0.005

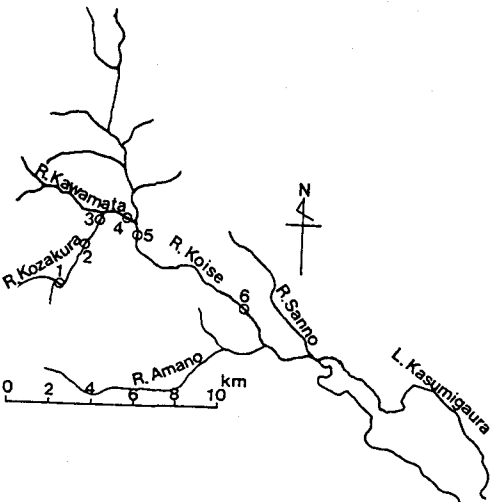


図1 調査地点

3. 結果及び考察

3.1 降雨時の河川流出特性

1993年に実施した定時調査時の使用量が多い3種類の除草剤の濃度変化を流量変化とともに、St.3について図2に示した。1993年の流域での除草剤使用量は、メフェナセツが84.1kg、エスプロカルブが42.7kg、ブタクロールが27.2kgであり、それぞれ、アクト粒剤、フジグラス粒剤、クサカリン粒剤として98%以上が散布されている。河川水中の最大濃度も使用量の順に $7.1\mu\text{g/l}$ 、 $4.9\mu\text{g/l}$ 、 $3.9\mu\text{g/l}$ となり、使用量の多い農薬で高くなった。また、クサカリン粒剤の散布時期が水稻移植後1~10日と、アクト粒剤やフジグラス粒剤の5~15日に比べて早いため、ブタクロールの最大濃度も5月13日とメフェナセツやエスプロカルブの5月17日より早くなっている。5月17日に濃度が高くなったのは、15・16日の土・日曜日に農業散布が集中したことによると考えられる。除草剤の検出が始まったのは3農薬とも5月9~10日の降雨時からで、ブタクロールは6月2日、エスプロカルブは6月15日、メフェナセツは6月20日まで検出された。このように、水稻移植後の河川水中の除草剤濃度の経日変化では、検出期間は約1ヶ月と短く、その間の濃度変動は大きくなっており、水田での農薬の散布時期や使用量に対応して変化している。

1993年の降雨時流出調査は、1回目が5月9~10日の17mm、2回目が14日の26mm、3回目が22~23日の15mmの降雨について実施した。それぞれの流量と3種類の除草剤の負荷量変化を図3~5に示した。1回目の降雨時は、除草剤の散布が始まった時期であり、負荷量は他の2回に比べて小さい。しかし、散布時期の早いブタクロールが、他の農薬と比べて高くなっている。2回目の降雨は、ブタクロールの最大濃度が出現した直後で、メフェナセツとエスプロカルブの最大濃度が出現する直前の降雨であった。また、降雨量が他の2回に比べて大き

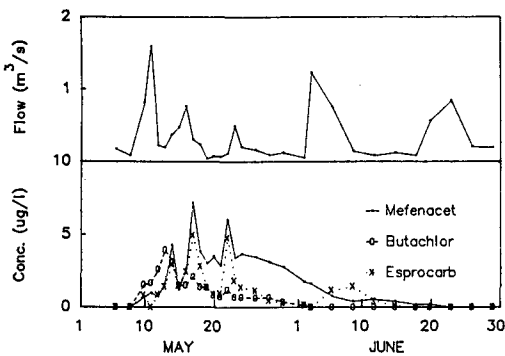


図2 除草剤濃度の経日変化

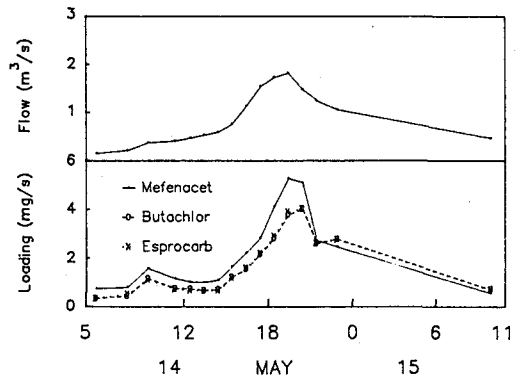


図4 降雨時の流量と流出負荷量の変化(1993/5/14-15)

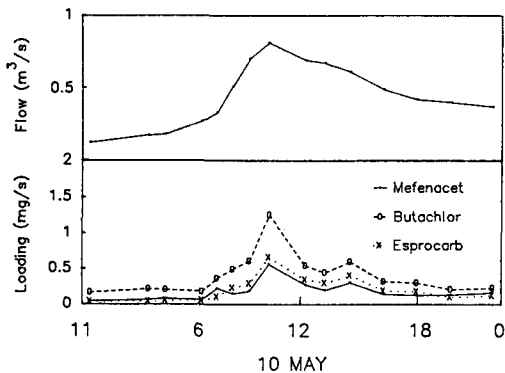


図3 降雨時の流量と流出負荷量の変化(1993/5/10)

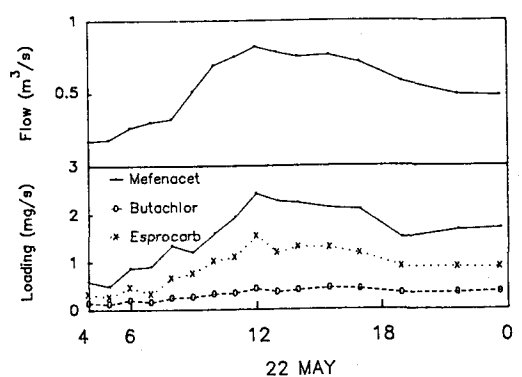


図5 降雨時の流量と流出負荷量の変化(1993/5/22)

表2 農薬の流出負荷量 (St. 3)

	流出負荷量(5/1-6/30)			一降雨流出負荷量 (()内は流出負荷量に対する比;%)				
	1991	1992	1993	1991	1992	1993		
				5/15-16	5/18-19	5/10	5/14-15	5/22
流量(10^3m^3)	2380	3400	1710	111 (4.6)	99 (2.9)	38 (2.2)	74 (4.3)	47 (2.8)
メフェナセット(g)	9480	7310	1900	1310 (13.8)	748 (10.2)	15 (0.8)	183 (9.6)	142 (7.5)
エスプロカルブ(g)	3720	2290	1100	509 (13.7)	340 (14.9)	17 (1.6)	157(14.3)	79 (7.2)
ブタクロール(g)	3250	2840	773	610 (18.8)	186 (6.5)	34 (4.4)	157(20.3)	29 (3.7)
プレチラクロール(g)	800	394	103	135 (16.8)	63 (16.1)	22 (21.1)	19(17.9)	0 (0)
BPMC(g)	3740	3140	1550	322 (11.6)	17 (0.5)	12 (0.8)	0 (0)	28 (1.8)
MPP(g)	440	155	129	41 (9.4)	1.9 (1.2)	0 (0)	0 (0)	2.6(2.0)

かったこともあり、流量の増加に伴って負荷量の上昇は大きくなっている。3回目の降雨では、最大濃度の時期を過ぎ降雨直前の濃度が低くなっていたブタクロールでは負荷量は上昇しなかったが、まだ降雨直前の濃度も高いメフェナセットやエスプロカルブでは負荷量の増加がみられた。このように、降雨時の流出負荷量は除草剤濃度の経日変化の中での降雨直前の濃度レベルの高さによって異なる結果となった。降雨直前の濃度レベルが高い場合には降雨時に農薬の流出負荷量は増加し、面源からの流出特性を示す。しかし、降雨直前の濃度レベルが低い場合には流出負荷量は増加しなかった。この降雨時直前の濃度レベルは、農薬の散布量、散布からの経過日数とその間の分解や先行降雨による流出等によって定まると考えられる。さらに、当該降雨の規模、降雨パターンによっても流出特性は異なると考えられる。

3. 2降雨時の流出負荷量

定時調査時の負荷量から、調査間隔に台形公式を用いて、5月1日から6月30日までの流量と流出負荷量の算定を1991年から3年間について行った。また、調査を実施した降雨について一降雨の流出負荷量を算定した。これらの値を降雨時調査を実施したSt.3について表2に示す。1993年の3回の降雨を比較すると、除草剤では散布時期の早いブタクロール、プレチラクロールで、早い時期の一降雨流出負荷量が大きくなっている。殺虫剤は、1992年以降で一降雨流出負荷量が小さくなっているが、これは、使用農薬がBPMCがバサジットからトレボンバッサに、MPPがバサジットからヒノバイジットに変化したことによって散布時期が5月から6月に変わったことに起因している。また、1993年のように流量が少ないと農薬の流出負荷量も少なくなっており、農薬散布直後の降雨量や降雨パターンが農薬の流出に大きく影響していると考えられる。

農薬散布直後の濃度レベルの高い場合に降雨時流出負荷量は大きく、一降雨流出負荷量が定時調査による流出負荷量の20%以上になり、降雨時流出負荷量を考慮すれば流出負荷量はさらに大きくなる。しかし、降雨直前の濃度レベルの低い場合には一降雨流出負荷量は流量の比率以下になり、降雨が農薬濃度の経日変化のどの時期にあたるかで降雨時流出負荷量は大きく異なる結果となった。

4. まとめ

水田施用農薬は、流域内での散布時期が集中するため除草剤では1ヶ月程度の短期間の流出となり、その期間の濃度変動は大きい。降雨時の流出負荷量の変化は降雨直前の濃度レベルによって異なり、散布直後の降雨では負荷量が増加し面源からの流出特性を示すが、濃度レベルが低い場合は負荷量は増加せず異なった流出特性を示す。このため、農薬の降雨時流出特性には、当該降雨の規模や降雨パターンに加えて、農薬の散布量散布からの経過日数とその間の分解や先行降雨による流出等が重要な要因となる。

引用文献

- 1) 沼辺明博, 井上隆信, 海老瀬潜一(1992)田園地河川における水稻移植後の農薬流出量の評価, 水環境学会誌, 15, 662-671.
- 2) 井上隆信, 海老瀬潜一(1994)水田施用農薬の懸濁態成分の河川流出特性, 土木学会第49回年次学術講演会概要集第2部, 1216-1217.