

広島県内の水田におけるプレチラクロールとベンチオカーブの動態調査事例

早瀬 光司*・橋本 あかね*・香口 哲行**・西山 文隆***

摘 要

現地水田におけるプレチラクロールとベンチオカーブの収支動態を総合的に解明し、考察するための研究を行った。広島県内で稲作を行っている営農形態の異なる3軒の稲作農家（第一種兼業A，第二種兼業B，無農薬専業C）において1996年4月から10月の間、水田，用水，排水の農薬分析，水質測定（用水源，及び排水排出河川も含む）及び調査票による農薬・肥料の使用量，作業時間，収穫量，経済収支調査等を行った。

除草剤に含まれるプレチラクロールとベンチオカーブを農薬成分として選び，その消長をガスクロマトグラフを用いて調べた。田面水中のプレチラクロールが最高濃度を示したのは，農家Aで散布後1～2日目に104～218 $\mu\text{g/l}$ ，農家Bで1日目に110～465 $\mu\text{g/l}$ であった。ベンチオカーブが最高濃度を示したのは，農家Bで散布後5～8日目に5.02～75.4 $\mu\text{g/l}$ であった。検出された期間はプレチラクロールが農家Aで散布直後から22～28日まで，農家Bで11～24日まで，ベンチオカーブでは農家Bで31日までであった。排水によるプレチラクロールの流出量，流出率はそれぞれ農家Aの二つの田で1190 mg，1.17%，及び，1120 mg，0.82%であった。農家Cの無農薬水田から農薬のベンチオカーブと思われるものが検出され，周辺の慣行栽培水田からの影響（汚染）が認められた。

農家A，Bとも基準量に対する農薬の使用量は，除草剤，殺虫殺菌剤ともほぼ適正であり，肥料の標準的な使用量に対する実際の使用量では元肥より追肥が多かった。農家A，Bの単位面積当りの作業時間では，施肥を除くほとんどの項目で農家Aの方が大きかった。農家Cの作業時間は農家A，Bと比べかなり大きかった。各農家の経費の特徴は，農家Aは肥料，特に土壤改良材の占める割合が大きく，農家Bは農薬の占める割合が大きく，農家Cはほとんどがアイガモの費用であった。各農家の収入/支出の比は，農家A：8.6，農家B：9.5，農家C：31となり，農家Cの作業時間の大きい分は収入によって補償されていた。

キーワード：農薬の消長，水田，営農家，総合的収支，農薬の流出率

1. 緒 言

日本の農業は様々な問題を抱えており，その一つに農薬，肥料の使用が挙げられる。農薬の使用には二つの側面がある。一つは農薬を使用するために生ずる問題で，これは食物への農薬残留であり，食物連鎖による生物濃縮¹⁾である。もう一つは農薬を使用しないために生ずる問題で，これは労働時間の増加であり，病虫害・雑草による収穫農産物の質・量の低下を招くことである。肥料に

ついては，栄養塩類を多量に含む排水による環境汚染²⁾がある。現在，日本の農家の大部分が兼業であり，作業時間の短縮，省力化が優先され，農薬，化学肥料は広く使用されているのが実状である。

その一方で食品の安全性に対する不安も高まり残留農薬の危険性も議論されている。店頭で無農薬，減農薬，有機栽培の表示のある野菜を見かけることも多くなり，こうしたものは多少高値であっても買われている。この様な動きを受け，1993年10月に農林水産省により「有機農産物に係わる

1997年12月19日受付，1999年2月12日受理

* 広島大学生物圏科学研究科，〒739-8521 広島県東広島市鏡山1-7-1，

** 広島県立農業技術センター，*** 広島大学工学部

青果物等特別表示ガイドライン³⁾が定められ、1994年4月から実施され、環境保全型農業⁴⁻⁶⁾という言葉も聞かれるようになった。

農系社会の単位である水田は人の手の入った自然の「系」であるが、Fig. 1に示すように、水田は外部環境とさまざまな物質をやり取りしている^{1,2)}。これは、基本的には「系」と「環境」における「資源の投入」「生産」「廃物の排出」に関する理念^{7,8)}と同様の考え方である。即ち、水稻を育てるために用水、農薬、肥料、労働力、機械やその燃料が投入され、生産物として米が収穫され、農薬や栄養塩類の一部が排水と共に排出される。また、水田は開放系であるため、降水、蒸発、地下浸透が起り、それに伴って農薬の飛散や、地下浸透も起りうる。さらに、稲の呼吸・光合成によって、CO₂、O₂のやりとりも行なわれ、また微生物も大きく関与している。

本研究では、営農を行っている3軒の稲作農家の水田において、Fig. 1の横の流れについて項目分析を行ない、(1)用水路、排水路を特定し、各水田の水の流れを把握し、(2)田面水、排水中の農薬濃度のピーク時期、最高濃度及び農薬検出期間を計測し、(3)農薬の流出量と流出率を測定し、(4)周辺の慣行農法水田から無農薬農法水田への農薬の流入について考察し、(5)農薬、化学肥料の使用の適切さを調べ、(6)各農家における作業時間、作付面積、収穫量の関係を明らかにし、(7)各農家の水田経営に関わる経済的側面を明示して比較を行い、現地水田におけるプレチラクロールとベンチオカーブその他の動態を総合的に明らかにすることを目的とした。

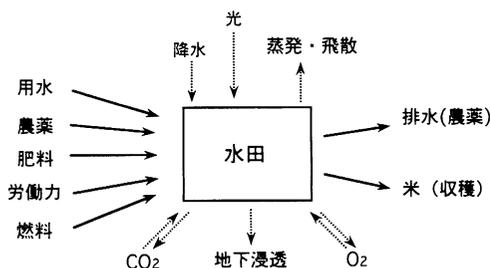


Fig. 1 水田の収支

2. 実験方法

2.1 調査協力農家

本研究ではこれまでのような理想的に抽出された実験用の水田における測定ではなく、従事者の労働や経済的側面なども含め、現実機能してい

る水田系において調査・実測する総合的な研究を目指し、調査に協力していただける営農家を最低3軒見出すことを目標とした。

1996年4～10月に以下の3軒の営農家(A, B, C)について調査を行った。農家Aは広島県賀茂郡大和町の第一種兼業農家で、世帯員数3名、うち2名が農業専従者である。慣行農法で水稻を栽培し耕地面積は207aである。水稻のほか、朝顔、ひまわり等の種の出荷を行なっている。出荷用の米を多く作っているが、必要最低限の農薬使用を心掛け農協主催の農業ゼミにも参加し、青色申告も行っているなど、農業の在り方に関心の高い農家である。農家Bは同県賀茂郡福富町の第二種兼業農家で、世帯員数5名、うち3名が農業専従者である。慣行農法で水稻を栽培し耕地面積は124aである。乳牛を6頭飼育し牛乳を出荷している。農家Bは主婦がサークルに参加しており、大学での研究に興味を抱いて調査協力を引き受けて頂けた。農家Cはアイガモ農法などの無農薬農法において地域では比較的名前の知られている同県賀茂郡福富町の専業農家で、世帯員数は5名、うち3名が農業専従者であり、残りの2名は学生で、夏休み等には手伝いをしている。アイガモ農法⁹⁾や紙マルチ農法³⁾(無農薬栽培)、減農薬栽培で水稻を栽培し耕地面積は1500aであり、そのうちアイガモ農法で栽培を行っているのは300aである。広島県立農業技術センターの紹介で協力していただけることとなった。

調査協力農家の見出し・選定は、筆者らにより、地域のサークルを通じて不特定の人々に直接に依頼する方法をとったところ、当初は本研究の特色である「営農家」を用いることの困難性を感じたが、最終的に3軒の「営農家」の協力を得ることができた。このことは、環境問題を含め日本の農業の在り方を真剣に考えながら農業を行なっている農家が少なからず存在していることの現れと思われた。

2.2 測定項目

(1) 水田の水質測定

農家A, Bはそれぞれ3枚の水田(A-6, -8, -9, B-2, -3, -8と命名)、農家Cは4枚の水田(C-1, -2, -3, -4と命名)の流入用水、田面水、流出排水の水質測定を行った。水温、溶存酸素(DO)、pH、電気伝導度(EC)、水田の水深、用水・排水の流量を現場で測定し、500～1000ml採水したものを、農薬分析(プレチラクロール、ベンチオカーブ)、荷電粒子誘起X線スペクトロメトリー(PIXE)分析(Na, Mg, Al, Si, P, S,

Cl, K, Ca) に用いた。

(2) 用水路・河川水質測定

各農家の使用用水路と農業排水の流入する河川の水質測定を1996年3月から11月まで行なった。水温, DO, pH, EC, 流量を現場で測定し, 20 ml 採水したものをPIXE分析に用いた。

(3) 農薬・肥料の使用量, 作業時間, 収穫量, 経済収支

農家の方には, 1996年4月1日から10月31日までの間, 農薬・肥料を使用した都度, 名称, 使用量を, また農作業を行なった日には作業内容, 作業時間を調査票に記入していただき, 収穫量, 経済収支等は直接聞き取り記録した。

2.3 流水経路

代表例としてFig. 2に農家Aの流水経路模式図を示した。水源池から引かれた用水は用水路を通り, 必要に応じて各水田に引き込まれる。余剰水は排水口より排水溝に自然に排出され近くを流れる大草川に流入するが, A-9の水田は水はけがよいため排水口はなかった。田面水の採水は図の△, ○, ◇の各地点で, 追跡調査される農薬が散

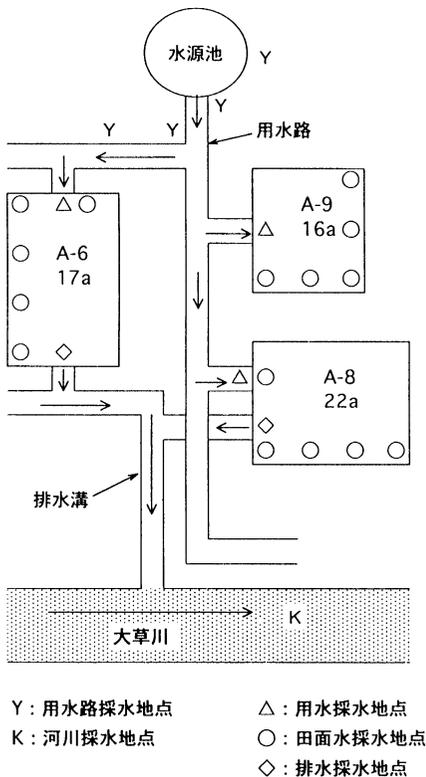


Fig. 2 農家Aの流水経路模式図

布される以前には1回, 散布直後は週2~4回, その後は1, 2週間に1回の頻度で水田の水が干上がるまで行なった。用水路, 河川水は1996年3月から11月まで, 図のY, Kの各地点で月に1回採水を行なった。

2.4 農薬分析

農薬分析は実測の前年に農家A, Bが使用した農薬の成分のうち, 1)環境基準値が設定されている, 2)農薬がサンプル採取可能な時期に散布される, 3)標準品が手に入る, 4)農家A, Bで共通である, 等の理由からプレチラクロール, ベンチオカーブについて行い, 構造式はFig. 3に示した。共に除草剤の成分であり, 1996年度は農家A, Bの初期除草剤にプレチラクロールが, 農家Bの中期除草剤にベンチオカーブが含まれていた。

Fig. 4のフローチャートに従い固相抽出法で試料を濃縮し, ガスクロマトグラフィーで農薬分析を行なった。カラム1はGLサイエンス製, GL-Pak PLS 2 (270 mg/6 ml), カラム2はWaters Corporation製, Sep-Pak Silica Cartridges (500 mg/6 ml)である。ガスクロマトグラフはGC-14A (島津製作所製), 検出器はフレイム熱イオン化検出器FTD-8 (島津製作所製)を使用し, ガラスカラムは内径3 mm, 長さ2 m, 充填剤に5% silicon DC-200, 担体はガスクロムQ (80~100 Mesh) のものを使用した。キャリアーガスはHeを使用し, 各ガスの圧力はHe: 1.8~2.0 kg/cm², H₂: 0.4 kg/cm², 空気: 0.6 kg/cm²であった。サンプル注入量は4 μl (オートインジェクターAOC-14 島津製作所製), 注入口温度250°C, カラム温度200°C, 検出器温度280°Cとした。アセトン, ヘキサンは残留PCB分析用及び, 試薬特級(片山純薬)のものを使用し, プレチラクロール,

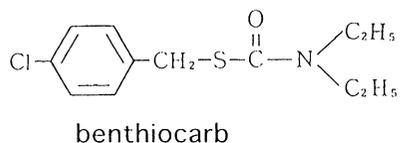
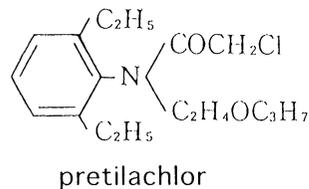


Fig. 3 分析した農薬成分

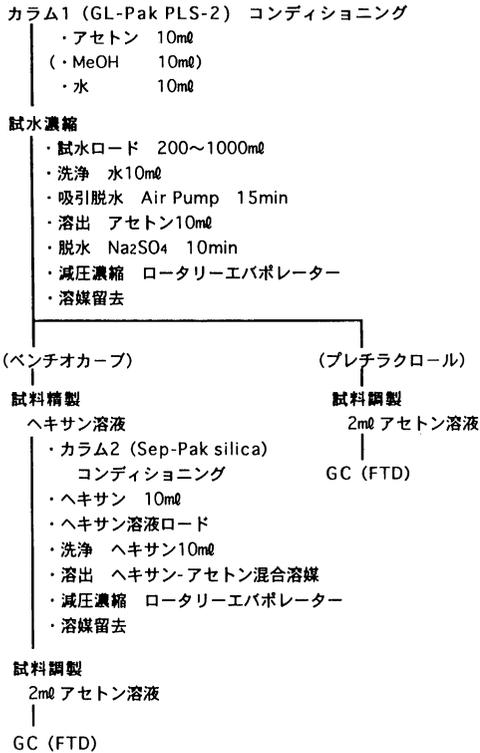


Fig. 4 GC分析試料調製のフローチャート

ベンチオカーブは、標準品プレチラクロール、ベンチオカーブ(和光純薬)を残留PCB分析用アセトンで希釈したものを用いた。

回収率は補正を行ったものをTable 1に示した。サンプルの保存日数にかかわらず一定であった。検出限界¹⁰⁾はプレチラクロール、ベンチオカーブとも(試水100ml, 最終液量2ml, 注入量4 μ l, 最終検出量100ngであるので)0.05 μ g/lであった。新水質基準検査法¹¹⁾に設定されている農業の抽出法ではジクロロメタンを使用しているが、本研究では人体、周辺環境への影響を考慮してアセトンを使用した。そのため回収率がやや低下したと思われる。

2.5 PIXE分析

Polyvinyl Formal(PVF)の2.5w%テトラヒドロフラン溶液を調製し、その中に石英ガラスのスライドガラスを浸した後10cm/minでスライドガラスを引き上げ、超純水中でPVF膜(厚さは約1000Å)をはがした。PVF膜はアクリル樹脂製フレームに張り付けた。この膜上に、試料の均一性を保つためのバインダーとして200mg/lポリ酢酸ビニルエマルジョン5 μ lを滴下した後、静置

Table 1 種々の条件の相異による農薬の回収率

条 件		回収率 (Added/Found)	
		プレチラクロール	ベンチオカーブ
農薬添加量 (μ g)	20	—	0.63
	5	0.96	0.72
	2	0.85	0.66
	1	0.88	0.61
	0.5	0.91	0.73
	0.2	1.18	1.06
試水中の農薬濃度 (μ g/l)	100	—	0.63
	25	0.96	0.72
	10	0.87	0.64
	4	0.78	0.73
	2	0.83	0.64
	1	1.18	1.06
試水ロード量 (ml)	1000	0.78	0.67
	500	0.78	0.72
	200	0.87	0.64
試水流下速度 (ml/min)	50以上	0.91	0.67
	30~50	0.95	0.78
	10~30	0.93	0.77
	10以下	0.71	0.71

しておいた試水の上澄み液を10 μ l滴下し、真空中で乾燥させた。これをPIXE分析のサンプルとした。

バンドグラフ加速器AN-2500型(日新ハイボルテージ株式会社製)からの2.0MeV水素分子イオン(H₂⁺)で試料を照射し、発生する特性X線をSi(Li)X線検出器SL80175(CANBERRA製)で測定した。試料上のビームの直径は6mmであり、照射電気量は10ないし20 μ Cであった。一試料あたりの測定時間は最大500秒であった。

得られたスペクトルは、スペクトル解析コード“PIXS”¹²⁾を用いて、試水10 μ l中のNa, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Caについて存在量を求めた。

2.6 水質測定

水温, DOはポータブル溶存酸素計(TOA製), pHはpHメーター(HORIBA製), ECはECメーター(HORIBA製)で測定した。流量測定¹³⁾は地形, 水深, 流速によって微流速計による流量測定, 浮き流し法, 直接採水法から選択して行った。微流速計は広井式微流速計(三映測量器株式会社製)を用いた。排水の流量測定は, 排水をポリびんに受けることのできる所で行い, 500mlのポリびんが満水になるまでの時間を測定し, 流量を求めた。流量の少ないときは1, 2回, 多いときは3~5回測定して平均した。

3. 結果及び考察

3.1 田面水中の農薬の消長

田面水中のプレチラクロールの消長の例を Fig. 5, 6 に示した。プレチラクロール濃度の極大値は、A-6 で散布後2日目に218 $\mu\text{g/l}$ 、A-8 で1日目に156 $\mu\text{g/l}$ 、A-9 で1日目に104 $\mu\text{g/l}$ 、B-2、B

-3、B-8 で散布後1日目にそれぞれ190 $\mu\text{g/l}$ 、465 $\mu\text{g/l}$ 、110 $\mu\text{g/l}$ であった。また、田面水中のベンチオカーブ濃度の極大値は、B-2 で散布後5日目に6.06 $\mu\text{g/l}$ 、B-3 で5日目に5.02 $\mu\text{g/l}$ 、B-8 で9日目に75.4 $\mu\text{g/l}$ であった。農家Aの水田におけるプレチラクロール濃度の極大値は100~200 $\mu\text{g/l}$ 程度となり、3ヶ所とも似た傾向を示した。

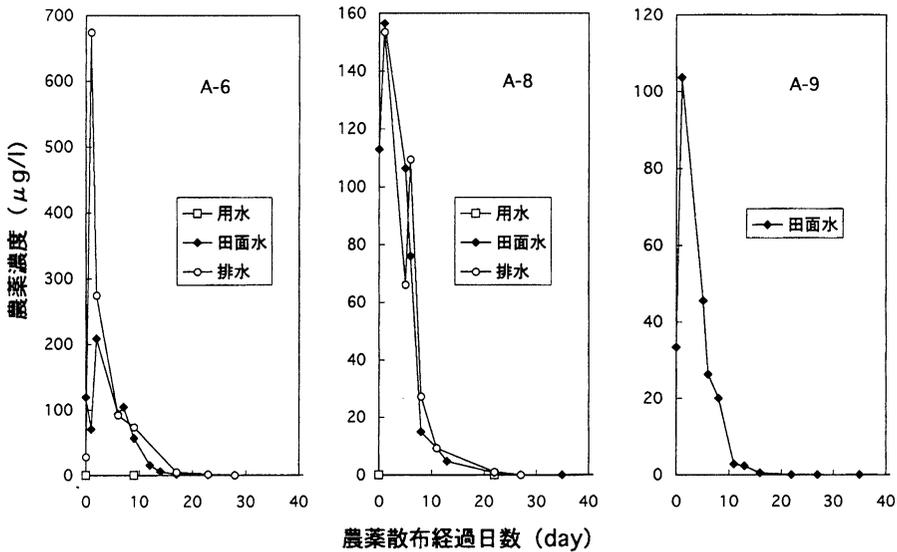


Fig. 5 農家Aの水田におけるプレチラクロールの消長

注) プレチラクロールの散布日 A-6: 5月2日, A-8: 5月3日, A-9: 5月3日

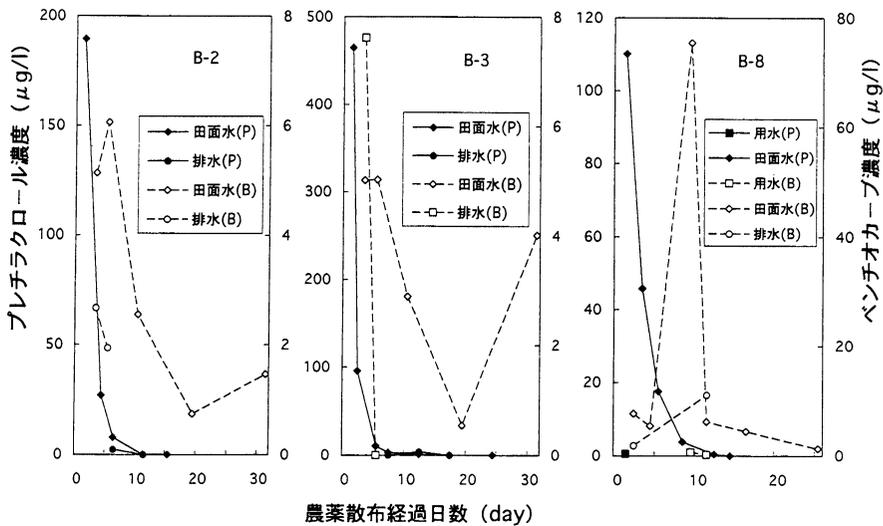


Fig. 6 農家Bの水田におけるプレチラクロールとベンチオカーブの消長

注) プレチラクロールの散布日 B-2: 5月19日, B-3: 5月18日, B-8: 5月11日
 ベンチオカーブの散布日 B-2: 6月9日, B-3: 6月9日, B-8: 6月2日

農家 B の水田のプレチラクロール濃度の極大値は 100~200 $\mu\text{g/l}$ 、500 $\mu\text{g/l}$ 程度となり、B-3 の値が他の二つの水田よりも高かった。これは水田に農薬を散布したときや、サンプリングの際の不均一性によるものと思われる。B-8 に比べ B-2、B-3 の最高濃度が低いのはサンプリングの回数が少なく、ピークをとらえられなかったためと考えられた。農薬がすべて田面水に均一に溶存したと仮定したときの濃度 (仮想値) は農家 A のプレチラクロールが 1000 $\mu\text{g/l}$ 、農家 B のプレチラクロールが 333 $\mu\text{g/l}$ 、ベンチオカーブが 4000 $\mu\text{g/l}$ となるが、実測の最高濃度は農家 A のプレチラクロールでその 1/10~1/5、農家 B のプレチラクロールで 1/3~3/2、ベンチオカーブでは 1/400~1/40 となり、一つを除いて低い値になった。ベンチオカーブの濃度がプレチラクロールに比べ仮想値より低くなったのは、プレチラクロールが液剤に含まれており、散布後すぐに田面水中に拡散するのに対し、ベンチオカーブは粒剤に含まれているため、散布後すぐに溶出せず、水田に拡散することがないためと考えられた。最高濃度に達した後、田面水中の農薬の濃度は急激に減少し、プレチラクロールは農家 A で 22~28 日、農家 B で 11~24 日に検出限界以下 ($<0.05 \mu\text{g/l}$) となった。しかし、ベンチオカーブは散布後 25 日に B-8 で、31 日目に B-2、3 で検出されたが検出限界以下となる前に水田が干上がってしまった。B-2、3 の水田で、ベンチオカーブの濃度が一旦減少し、その後また増加したのは、干上がる前に田面水が減少し、その濃縮効果のためと考えられた。排水中のプレチラクロール濃度の極大値は、散布後 1 日目に A-6 で 674 $\mu\text{g/l}$ 、A-8 で 153 $\mu\text{g/l}$ であった。A-6 の排水中のプレチラクロール濃度の極大値は他の排水中の濃度に比べ飛び抜けて高い値を示した。排水中からはプレチラクロールは 11~48 日目まで検出された。B-8 では、用水から低濃度ではあるがプレチラクロールが 0.42 $\mu\text{g/l}$ 、ベンチオカーブが 0.19 $\mu\text{g/l}$ 検出されたが、他の水田の用水からは検出されなかった。

B-8 のベンチオカーブの消長より、田面水中のベンチオカーブ濃度のピークは農薬散布後 10 日前後に現れると考えられるが、プレチラクロール濃度のピークは散布後 1, 2 日に現れている。プレチラクロールに比べ、ベンチオカーブが最高濃度に達するまでの日数が遅いのはプレチラクロールは液剤、ベンチオカーブは粒剤として散布され、農薬の剤型によって成分の溶出速度が異なるためと考えられた。B-8 の用水からのみ農薬が検出さ

れた原因としては、A-6, 8, 9, B-2, 3 は用水の取水口から水田までの用水路が他の水田の近傍を通っていないのに対して、B-8 の用水は他の水田群の中を通り流入しているため、水田から飛散した農薬が用水に混入したなどが考えられる。また、農薬を使用していない農家 C のアイガモ田 C-2, 3 で農薬が検出されるか確認するため、1996 年 6 月 6 日に採水した試水を濃縮し、GC 分析を行った。6 分間測定し、現れたピークのリテンションタイム (RT) とピーク面積を Fig. 7 にまとめた。C-2, 3 では C-3 の方がより下流にある水田で、C-2 と C-3 の間には慣行農法の水田が 6 枚存在することが分かった。C-3 で RT 2.0 分、2.4 分に大きなピークが現れ、また C-2, 3 とも 3.2 分、5.7 分にも小さいけれどピークが現れた。本研究の GC 測定条件では 2.4 分はベンチオカーブの RT に相当し、このピーク面積を仮にベンチオカーブに換算すると C-3 における濃度は用水: 0.38 $\mu\text{g/l}$ 、田面水: 0.32 $\mu\text{g/l}$ 、排水: 0.39 $\mu\text{g/l}$ となった。現れたピークがベンチオカーブであるかどうかの同定はしなかったが、特に用水の取水口から、より下流にある水田での検出量が大きかったため周りの慣行農法水田から農薬が流入したのと考えられる。なおプレチラクロールの RT に相当する 4.9 分にはピークは現れなかった。

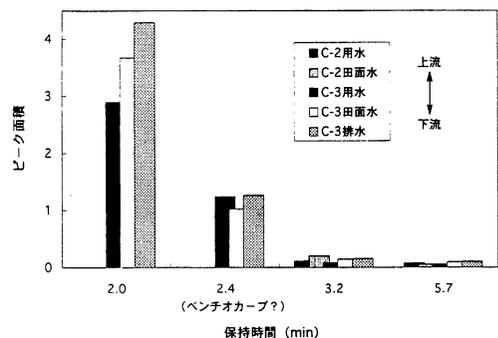


Fig. 7 農家 C の水系に混入している有機物

3.2 農薬の流出率

排水の流量測定を行うことのできた水田 A-6, 8 において、排水のプレチラクロール濃度 (mg/l) に排水流量 ($1/\text{day}$) を乗じて流出速度 (mg/day) を求め Fig. 8 に示した。図を積分し、その面積より流出量を求めた後、これを農薬の散布量から計算したプレチラクロールの投入量で除し、流出率を求めた。A-6 では、プレチラクロール投入量 102 g、流出量 1190 mg で流出率は 1.17% であった。また A-8 では、プレチラクロール投入量 136 g、流

出量 1120 mg で流出率は 0.82 % であった。他の研究例では農地、農薬や算出法は様々であるが、流出率には 0.1~17 % の幅の値が報告されている^{1,15~17)}。

3.3 田面水中の S, Cl, P 濃度の変動

PIXE 分析で A-6, B-8, C-1~4 の用水, 田面水, 排水中の S, Cl, P の濃度変動を分析した。一例として B-8 の田面水中の S, Cl, P を測定した結果を Fig. 9 に示した。除草剤には S, Cl が、肥料には P が含まれているが、B-8 の田面水の各元素濃度は、5/11 の初期除草剤, 元肥散布後に S : 23.6 mg/l, Cl : 55.3 mg/l, P : 1.19 mg/l となり S, Cl は増加し、6/2 の散布直前には田面水中の濃度は S : 1.12 mg/l, Cl : 4.97 mg/l, P : 0.276 mg/l へと減少し、用水中の濃度 (S : 1.1~1.4 mg/l, Cl : 3.7~4.9 mg/l, P : 0.10~0.12 g/l) と同程度になり、6/2 の中期除草剤, 追肥散布後に、S : 31.6 mg/l, Cl : 89.3 mg/l, P : 11.4 mg/l と急上昇し極大を示した。A-6 についても B-8 とほぼ同様の傾向が見られた。用水中の S, Cl 濃度に比べ農薬や肥料を起源とする S, Cl 濃度は低

いが、S, Cl 濃度が急上昇した時期は農薬および肥料を散布した直後と一致するので、この急激な上昇は農薬や肥料のなんらかの影響を受けていると考えられる。P については肥料中の P が総て溶解すると仮定すると用水中の P 濃度より高くなるので、濃度変動は肥料散布の影響を受けていると考えらる。一方、農家 C の水田では農薬、肥料の散布を行っていないので、慣行農法のような変動は見られず、濃度変動は流入用水の変動に対応しており、アイガモを水田に入れる前後で特に濃度の増減した元素はなかった。

3.4 農薬・肥料の使用量

各農家に行ったアンケートより、1996 年、農家 A の水田では雑草、害虫の発生は例年より少なく、病気の発生は例年より多かった。害虫はカメムシが、病気は葉イモチが発生した。また農家 A の 1996 年の農薬使用量は例年より少なかった。一方農家 B の水田では害虫の発生は例年並みで、雑草、病気の発生は例年より多かった。害虫はウンカ類、カメムシ、ドロオイムシが、病気は葉イモチ、穂イモチが発生した。農薬の使用量は例年より多く、また前年度使用しなかった農薬も使用していた。農家 C ではアイガモ農法の出来ない水田 (広島県東広島市) でのみ除草剤を使用していた。農家 C のアイガモ農法の水田では雑草、害虫、病気の発生とも例年並みであり、害虫はカメムシが、病気は葉イモチの発生が見られた。

基準量に対する農家 A, B の農薬の使用量を Table 2 にまとめた。初期除草剤は代かきの直後に散布され、中期除草剤は田植え後約 1 週間に散布された。殺虫殺菌剤はウンカ類、イモチ病防除に使用され、殺虫剤はウンカ類防除に使用された。基準量に対する割合は、農家 A, B ではそれぞれ初期除草剤で 1.0, 0.7~1.1, 中期除草剤で 1.0, 1.0, 殺虫殺菌剤で 0.8~1.1, 1.0 であった。農家 A, B とも使用量/基準量の値はほぼ 1.0 となり、農薬は適切に使用されていることが確認された。

標準的な使用量に対する農家 A, B の化学肥料の使用量を Table 3 にまとめた。施肥は通常、元肥、追肥、穂肥の 3 回行われる。施肥量はその水田の地力によって変わるため単純に使用量の多い少ないの判断ができないが、地域ごとに作成されている防除暦に標準的な使用量が示されている。本論文では東広島地域農業改良普及センター作成の平成 7 年稲作栽培ごよみの施肥設計 (例) を標準的な使用量とした。農家 A では標準的な使用量に対し、元肥を 0.5~0.6 と少なめに、追肥を 1.1~1.2 とやや多めに使用している。元肥、追肥

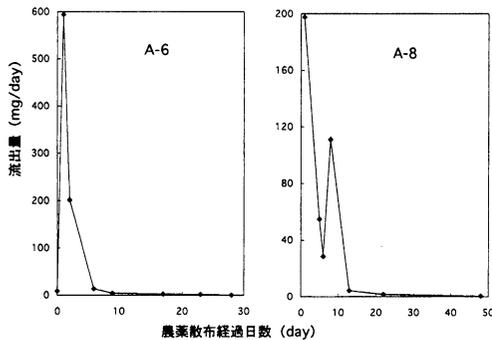


Fig. 8 排水によるプレチラクロールの流出量

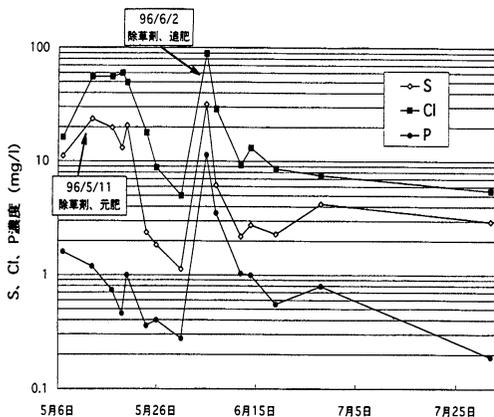


Fig. 9 水田 B-8 の田面水中の S, P, Cl の濃度変化

Table 2 農家AとBの農薬使用量と基準量の比較

水田	農薬名(商品名)	使用目的	使用量	基準量	使用量/基準量
A-6 (17a)	エリジャン乳剤	除草	850ml	850ml	1.0
	バトル粒剤	除草	5.1kg	5.1kg	1.0
	アブロードラブサイドバッサ粉剤 DL	殺虫・殺菌	5.5kg	6.8kg	0.8
A-8 (22a)	エリジャン乳剤	除草	1130ml	1100ml	1.0
	バトル粒剤	除草	6.6kg	6.6kg	1.0
	アブロードラブサイドバッサ粉剤 DL	殺虫・殺菌	8.9kg	8.8kg	1.0
A-9 (16a)	エリジャン乳剤	除草	830ml	800ml	1.0
	バトル粒剤	除草	4.8kg	4.8kg	1.0
	アブロードラブサイドバッサ粉剤 DL	殺虫・殺菌	5.1kg	6.4k	0.8
B-2 (27a)	ユニハープフルアブル	除草	880ml	1340ml	0.7
	クミリード SM 粒剤	除草	7.8kg	8.0kg	1.0
	トレバリダビーム粉剤 DL	殺虫・殺菌	10.4kg	10.7kg	1.0
	ビームトレボン粉剤 DL	殺虫・殺菌	10.4kg	10.7kg	1.0
B-3 (11a)	ユニハープフルアブル	除草	500ml	555ml	0.9
	クミリード SM 粒剤	除草	3.3kg	3.3kg	1.0
	トレバリダビーム粉剤 DL	殺虫・殺菌	4.4kg	4.4kg	1.0
	ビームトレボン粉剤 DL	殺虫・殺菌	4.4kg	4.4kg	1.0
B-8 (18a)	ユニハープフルアブル	除草	1000ml	905ml	1.1
	クミリード SM 粒剤	除草	5.4kg	5.4kg	1.0
	トレバリダビーム粉剤 DL	殺虫・殺菌	7.2kg	7.2kg	1.0
	トレボン粉剤	殺虫	7.2kg	7.2kg	1.0

注) 各農薬の成分含有量

- ・エリジャン乳剤 (プレチラクロール 12.0%)
- ・バトル粒剤 (ダイムロン 5.0%, メフェナセツト 3.5%, イマズスルフロン 0.3%)
- ・アブロードラブサイドバッサ粉剤 DL (フサライド 2.5%, BPMC 2.0%, プロフェジン 1.0%)
- ・ユニハープフルアブル (プレチラクロール 5.0%, ベンゾフェナップ 20%)
- ・クミリード SM 粒剤 (ベンチオカルブ 10.0%, シメトリン 1.5%, MCPB 0.80%)
- ・トレバリダビーム粉剤 DL (トリシクラゾール 1.0%, エトフェンプロックス 0.50%, バリダマイシン 0.30%)
- ・ビームトレボン粉剤 DL (トリシクラゾール 1.0%, エトフェンプロックス 0.50%)
- ・トレボン粉剤 (エトフェンプロックス 0.50%)

Table 3 農家AとBの肥料使用量と標準的な使用量の比較

水田	肥料名	使用目的	実際の使用量	標準的な使用量	実際の使用量/標準的な使用量
A-6	コウノシマ481	元肥	43kg	68kg	0.6
	銀泉	追肥	36kg	34kg	1.1
A-8	コウノシマ481	元肥	45kg	88kg	0.5
	銀泉	追肥	51kg	44kg	1.2
A-9	コウノシマ481	元肥	33kg	64kg	0.5
	銀泉	追肥	34kg	32kg	1.1
B-2	イネ4号	元肥	80kg	80kg	1.0
	イネ4号	追肥	40kg	40kg	1.0
B-3	イネ4号	元肥	40kg	33kg	1.2
	イネ4号	追肥	20kg	17kg	1.2
B-8	イネ4号	元肥	60kg	54kg	1.1
	イネ4号	追肥	40kg	24kg	1.7

注) 各肥料の成分含有量

- ・コウノシマ481 (N 16%, P 16%, K 16%)
- ・銀泉 (N 14%, P 6%, K 16%)
- ・イネ4号 (N 14%, P 17%, K 13%)

が良く効いたため、農家 A では 1996 年度に穂肥の散布は行われなかった。農家 B では標準的な使用量に対し、元肥を 1.0~1.2、追肥を 1.0~1.7 使用した。但し B-8 は堆厩肥を元肥として使用し、堆厩肥の使用量は不明であった。また B-8 では 1996 年度は今までに栽培したことのない品種（ハナエチゼン）が栽培され、そのため慎重になり、肥料の使用量が他の農家 B の水田と比べ多くなっていた。農家 B も 1996 年度は穂肥散布の必要がなかった。農家 C では元肥として油かすと米ぬかを 10 a あたりそれぞれ 40, 20 kg 散布し、その後はアイガモを水田に入れるので追肥は行っていない。

3.5 各農家の労働時間、耕作面積、収穫量の比較

調査票をもとに農家 A, B の水田における作業別労働時間を Table 4 にまとめた。全収穫量は農家 A, B, C についてそれぞれ 10410kg, 6750kg, 14100 kg であった。ワラ重量は通常実測できないので、(ワラ重/玄米重) 比¹⁷⁾からそれぞれ 13700 kg, 8880 kg, 19580 kg と計算した。農家 A, B とともに機械を使用する作業時間は男の方が多く、田植えの作業時間で女が大きかったのは田植え機で植えることの出来ない場所、例えば水田の四隅やあぜに近い場所に A (女) が苗を手で植えたため

であった。

これらをもとに農家 A, B の共通作業について単位面積、単位収穫量あたりの作業時間の比較を行い、その結果を Table 5 に示した。農家 A, B でその作業時間に差の生じる理由を考えると、苗作りでは、農家 B では一部の苗を購入しているため農家 B で小さく、田植えでは A (女) による手植えが多かったため A の方が大きくなったと考えられる。施肥では、農家 A は化学肥料のみを使用しているのに対し、農家 B は乳牛からの堆厩肥と化学肥料を使用しており、堆厩肥のすき込に時間を費やしたため農家 B で大きく、稲刈りでは、農家 A は 2 人で作業をしているのに対し、農家 B は 1 人のため農家 B で小さかったと考えられた。ここでいう草刈には水田内の除草は含まれず、あぜや道など水田の周りの草刈を意味し、害虫の隠れ家になる草叢をなくすために行なうものであり、地形などによって時間のかけ方は異なっている。

農家 A, B と農家 C のの作業時間の比較を行った。農家 C では、全作業時間のデータが得られなかったため、苗作り、水田準備、田植え、稲刈りのような農家 A, B と共通する作業に要する単位面積あたりの作業時間は同程度であると仮定し、相違している部分についてのみ比較した。アイガモ農法はアイガモが農薬、肥料の代わりになるので、農家 A, B が施肥、農薬散布にかかる時間と、農家 C のアイガモ農法特有の作業であるネット張り、カモ入れ、餌やり、および元肥施肥にか

Table 4 各農家の作業時間

項目	作業者		作業時間 (人・h)
	A (男) (h)	A (女) (h)	
苗作り	25.5	101.5	127
水田準備	53	1	54
田植え	33	41.5	74.5
農薬散布	10.5	2.5	13
施肥	18.5		18.5
草刈り	65.5	109	174.5
稲刈り	64.5	50.5	115
米整理	26.5	21.5	48
水管理	16	10.8	26.8
池管理	12.5		12.5
片付け等	11		11
手伝い	17		17
計	353.5	338.3	691.8
	B (男) (h)	b (女) (h)	
苗作り	6.5	16.5	23
水田準備	32.3		32.3
田植え	12.7	18	30.7
農薬散布	3.8	4.2	8
施肥	26.9		26.9
草刈り	15.5	47.9	63.4
稲刈り	37		37
計	134.7	86.6	221.3

Table 5 農家 A と B の作業時間の比較

		農家 A	農家 B
面積当りの 労働時間 (人・h/a)	面積 (a)	207	124
	苗作り	0.61	0.19
	水田準備	0.26	0.26
	田植え	0.36	0.25
	農薬散布	0.06	0.06
	施肥	0.09	0.22
	草刈り	0.84	0.51
	稲刈り	0.56	0.30
計	2.79	1.79	
収穫量当りの 労働時間 (人・h/t)	収穫量 (t)	10.41	6.75
	苗作り	12.2	3.4
	水田準備	5.2	4.8
	田植え	7.2	4.5
	農薬散布	1.2	1.2
	施肥	1.8	4.0
	草刈り	16.8	9.4
	稲刈り	11.0	5.5
計	55.4	32.8	

かった作業時間の単位面積、単位収穫量あたりの比較を Table 6 に示した。但し、アイガモ農法特有の作業は先に挙げたもの以外にも幼ガモの世話、カモ引き揚げ、ネット片付け、成ガモの世話などがあるが、幼ガモ、成ガモの世話は施肥、農薬散布に代替される作業ではなく、また、これらの作業時間がわからなかったため考察には含めなかった。単位面積あたりの作業時間の比較は、農家 A を 1 とすると農家 B は 1.9、農家 C は 14 となり、単位収穫量あたりの作業時間は農家 A を 1 とすると農家 B は 1.7、農家 C は 14.7 となった。農家 C は作業時間が大きい、後述するように収入/支出の比で補償されている。ところで農家 C では家族の労働力だけでは足りないので農繁期には人を雇っている。古くから来ている人（親戚、知人）は日給 7000~8000 円（1 日約 8 時間労働）、シルバーセンター（高齢者の人材派遣センター）からの人には時給 700 円払っている。また、一般の人々に農業体験という形でイベントでカモのネット張りを手伝ってもらっており、それらも作業時間に算入した。アイガモは水田中の雑草や虫などを食べるが、それらの他に餌として米ぬか、くず米等を一羽あたり一日約 50 g 与えていた。燃料については、農家 A では所有する全水田に対してガソリン（軽トラック用）50 l、軽油（トラクター、コンバイン用）300 l、灯油（乾燥機用）80 l、混合油（草刈機、動力散布機用）60 l の使用であったが、農家 B、C では計測できなかった。

3.6 各農家の経済的な比較

各農家の経済的な比較を行うため、経済的な諸項目を Table 7 に示した。アイガモ農法とはアイガモを水田に入れることによって除草、害虫駆除、養分補給効果を狙った農法であり、農家 C は 1 羽 400 円のアイガモのひなを 700 羽仕入れており、その金額は 28 万円、10 a 当り 9000 円で肥料と合計すると 10500 円となる。アイガモの餌としては前年度にできたくず米や米ぬかを与えているので、餌代はかからない。農家 A では必要最低限の農薬使用を心掛けており、防除暦の農薬使用回数にこだわっておらず、1996 年は病害虫防除は一度しか

行わなかった。前述のアンケート結果からも 1996 年の農家 A の農薬使用量は例年より少なかった。一方農家 B では農薬の使用量は例年より多く、その原因として初めての品種を栽培し始めたこと、またイモチ病に弱いコシヒカリを栽培していることがあげられ、その結果農薬の種類、量を増やし、農家 B の農薬にかかる金額は農家 A を大きく上回っていた。肥料については、農家 A で土壌改良材として入れるスーパーカッツがかなりの金額を占めている。農家 B では乳牛を飼育しており、それによって生じる牛糞を土壌改良材として入れている。農家 A、B の肥料の金額を元肥、追肥のみで比較するとそれぞれ 5435 円、4294 円となり差が小さくなる。稲作のみでなく、家畜飼育を組み合わせることで牛糞という有機資材の活用と経費削減の経済効果が発揮され有効であった。なお、農家 A のスーパーカッツは 1995 年冬から 1996 年春にかけて入れられたもので、調査期間中に入れられた場所とそれ以前に入れられた場所がある。しかし、1996 年度の稲作に必要な作業であるので考察に加えた。

また米の価格は農家 A、B では品種によって若干の価格差があるが 1 kg 当り 300 円弱であるのに対し、農家 C の米はコシヒカリというブランド米に「アイガモ農法」という付加価値がつくため、1 kg 当り 700 円と、農家 A、B の 2 倍以上の高値であった。農家 C の作業時間は農家 A、B と比べて多く、農繁期には人を雇うなどして多くの金と労働力をかけているが、それに見合うだけの米の価格が付けられている。

ところで役目を終えたアイガモは水田から引き上げられ、2、3 ヶ月育てられた後 1 羽当り 1000~1500 円程度で売られていた。但し、アイガモは水鳥であるため羽根を抜くのに大変手間がかかるので処理費用が 1 羽当り 800~1000 円かかり、また実際に売れたアイガモは 200 羽余りで販売ルートが確立されていないのが現状である。アイガモ農法は幼鳥が利用される。成鳥は幼鳥に比べ雑草駆除能力に劣るため余り使用されず、1996 年度に仕入れた残りの成鳥は自家処分したり、知人に

Table 6 アイガモ農法と慣行農法の比較

	農家 A	農家 B	農家 C
労働時間 (人・h)	31.50	34.92	626.50
労働時間 (人・h/a)	0.15	0.28	2.09
労働時間 (人・h/t)	3.03	5.17	44.43

注) 但し農家 A、B は農薬散布、施肥、農家 C は施肥、ネット張り、かも入れ、餌やりの時間とする。

Table 7 各農家の経済的諸項目

農家	A	B	C
投入費用 (千円/10a)	15.8	14.6	10.5
米価 (千円/kg)	約0.3	約0.3	約0.7
総支出 (千円)	327	181	325
総収入 (千円)	2823	1724	9940
(収入/支出) 比	8.6	9.5	30.6

譲ったり、新たにアイガモ農法を始める人に研究用に提供したりして全て処分された。農家 A, B, C の総支出, 総収入は Table 7 に示したが, 各農家の (収入/支出) 比は, 農家 A : 8.6, 農家 B : 9.5, 農家 C : 30.6 となり, 農家 C はコシヒカリに「アイガモ米」という付加価値がつくため米の値段が農家 A, B の約 2.5 倍となり比の値が大きくなり, 作業時間の大きさを補償していた。

4. ま と め

本研究において以下のことが確認された。

- (1) 農薬, 肥料の動態を詳しく知るために, 用排水路の流れを綿密に把握することは大変有効であった。
- (2) 田面水中のプレチラクロールの最高濃度は, 農家 A で散布後 1~2 日目に 104~218 $\mu\text{g}/\text{l}$, 農家 B で散布後 1 日目に 110~465 $\mu\text{g}/\text{l}$ を示し, ベンチオカーブの最高濃度は, 農家 B で散布後 5~9 日目に 5.02~75.4 $\mu\text{g}/\text{l}$ を示した。検出期間は散布直後から 11~31 日目まで検出された。
- (3) 排水によるプレチラクロールの全流出量, 流出率はそれぞれ A-6 で 1190 mg, 1.17%, A-8 で 1120 mg, 0.82% であった。
- (4) 農家 C の水田からも農薬 (ベンチオカーブ) と思われるものが検出され, 周辺の慣行農法の水田からの汚染と考えられた。
- (5) 農家 A, B の農薬使用量は, それぞれ基準量に対し, 除草剤は 1.0, 0.7~1.1, 殺虫殺菌剤は 0.8~1.0, 1.0 であった。農家 A では肥料の標準的な使用量に対し, 元肥を 0.5~0.6 と少なめに, 追肥を 1.1~1.2 とやや多めに使用しており, 穂肥の散布は行われなかった。農家 B では元肥を 1.0~1.2, 追肥を 1.0~1.7 使用し, 穂肥の散布は行われなかった。
- (6) 農家 A, B で単位面積あたりの作業時間に差のあった作業は苗作り, 田植え, 施肥, 草刈, 稲刈りであり, 施肥以外では農家 A の方が作業時間が大きかった。農家 C の全作業時間は農家 A, B と比べかなり多いことが認められた。
- (7) 各農家の収入/支出の比は, 農家 A : 8.6, 農家 B : 9.5, 農家 C : 31 となった。農家 C はコシヒカリに「アイガモ米」という付加価値がつくため米の値段が農家 A, B の約 2.5 倍となり, 作業時間の大きい分を補償していた。

農薬に関するものを初め様々な環境問題において, 「生産者」, 「消費者」, 「環境保全」の 3 つの観

点から議論がなされる時, しばしば矛盾やジレンマ, 場合によってはトリレンマを生ずることもあり, 環境保全と経済的側面とをいかにバランスさせていくか (その尺度の設定を含めて) が, 我々自身のライフスタイルの変革をも含めて, 21 世紀を目前にしての重要な課題である。

謝辞: 本研究をまとめるにあたって, 貴重なご助言をいただいた京都大学大学院工学研究科 内藤正明教授に感謝いたします。

文 献

- 1) 金沢 純 (1992) 農薬の環境科学, 合同出版。
- 2) 國松孝男・村岡浩爾 (1989) 河川汚濁のモデル解析, 技報堂出版。
- 3) 広島県立農業技術センター (1995) 人間と環境にやさしい広島型農業への道。
- 4) 嘉田良平 (1993) 環境保全型農業の課題と方向, 日本農業学会誌, 18, S 201-S 206。
- 5) 井上隆弘 (1996) 環境保全型農業技術開発の展望. 圃場と土壌, 328, 329, 14-17。
- 6) 羽賀清典 (1996) 環境保全型農業と家畜ふん尿の処理, 利用. 圃場と土壌, 328, 329, 25-32。
- 7) 早瀬光司 (1994) 具体的な環境監査, 廃棄物学会誌, 5(5), 427-435。
- 8) 早瀬光司・赤井 裕・八田昭道・和田英樹 (1995) 事務系オフィス (一つの「社会システム」) における紙類の流れに着目した環境監査の実施とその方法論に関する研究. 廃棄物学会誌, 6(6), 215-224。
- 9) 吉田久子・中釜明紀 (1993) 水稻栽培における合鴨放飼の効果, 第 3 回合鴨フォーラム発表要旨, 68-76。
- 10) 後藤真康・加藤誠哉 (1987) 増補残留農薬分析法, ソフトサイエンス社。
- 11) 厚生省生活衛生局水道環境部長通知 (1992) 衛水第 264 号。
- 12) Hirokawa, T., F. Nishiyama and Y. Kiso (1988) Relative Intensity Database of L-shell Lines of Lanthanides and Analysis of the PIXE Spectra. *Nucl. Inst. and Meth.*, B 31, 525。
- 13) 新井 正 (1994) 水環境調査の基礎, 古今書院。
- 14) 丸 論 (1990) 水田用ライシメーターからの農薬流出と水溶解度の関係. 日本農業学会誌, 15, 385-394。
- 15) 丸 論 (1993) 水系環境における農薬の動態に関する研究. 日本農業学会誌, 18, S 135-S 143。
- 16) 半川義行 (1985) 田面水および河川水におけるモリネートの消長. 日本農業学会誌, 10, 107-112。
- 17) 村山寿夫 (1993) 中山間地における有機栽培米の安定生産技術と経営. 第 3 回合鴨フォーラム発表要旨, 26-37。

Behavior of Pesticides in Paddy Fields in Hiroshima Prefecture

Kohji HAYASE*, Akane HASHIMOTO*, Tetuyuki KOGUCHI**
and Fumitaka NISHIYAMA***

(*Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University,
Kagamiyama, Higashihiroshima, 739-8521, Japan,

**Hiroshima Prefectural Agricultural Research Center,

***Faculty of Engineering, Hiroshima University)

Abstract

Mass and economic overall input-output balance was studied between paddy fields which is steady system and their environment. Concentration of pesticides and manures in paddy fields, usage of pesticides, working times, the crop yields and economic balances were investigated during April to October in 1996 in three farmhouses (A,B, C) in Hiroshima Prefecture.

Behaviors of pretilachlor and benthocarb in herbicides in paddy fields were analysed by gas chromatography. Maximum concentration of pretilachlor in paddy fields of farmhouses A and B were 99.6~201 $\mu\text{g}/\text{l}$ in one day after spraying and 119~461 $\mu\text{g}/\text{l}$ in 1~2 days after spraying, respectively. Maximum concentration of benthocarb in paddy fields of farmhouse B was 7.48~113 $\mu\text{g}/\text{l}$ in 5~8 days after spraying. Pretilachlor in paddy fields of farmhouses A and B was detected until 22~28 days after spraying and 11~24 days after spraying, respectively. Benthocarb in paddy fields of farmhouse B was detected until 31 days after spraying. Pretilachlor outflow through drain and its rate to total sprayed pretilachlor were 1110 mg, 1.09% and 1043 mg, 0.77% ,respectively, in two paddy fields of farmhouse A. Since some pesticides (one is supposed to be benthocarb) were detected in paddy fields of farmhouse C which does not use pesticides at all, a contamination of pesticides from surrounding paddy fields was observed.

Amount of sprayed pesticides to standard usage was appropriate for both farmhouses A and B. Working time per paddy fields area was larger for farmhouse A than B except spraying manures. Working time of farmhouse C was much larger than those of A and B. Main expences of farmhouses A,B and C were manures&soil improvement, pesticides and ducks which eat insects and grass, respectively. Since ratios of income to expences for farmhouses A, B and C were 8.6, 9.5 and 31, larger working time of farmhouse C was compensated by larger incomes.

Key Words : behavior of pesticides, paddy fields, farmhouses, overall input-output balance, outflow rate of pesticides