

## 報告 (Note)

### 相模川、酒匂川流域における農薬の流出量推定法に関する検討

池貝隆宏, 鎌田素之\*, 相澤貴子\*\*  
(企画部, \*関東学院大学, \*\*横浜市水道局)

#### A Study on Estimation of Pesticide Runoff in the Basin of Sagami and Sakawa River

Takahiro IKEGAI, Motoyuki KAMATA\*, Takako AIZAWA\*\*  
(Planning Division, \*Kanto Gakuin University, \*\*Yokohama Waterworks Bureau)

キーワード：農薬流出, フガシティモデル, 流域

#### 1 背景と目的

農薬は、事業所や家庭由来の物質と並び、河川環境における汚濁要因の一つである。例えば、神奈川県金目川ではチオベンカルブ等の高濃度検出が報告されており<sup>1)</sup>、河川生態系に対する影響が無視できない状況となっている。河川の流域管理を適切に行うには、その負荷量の把握が必要である。一方、水道法においては、平成16年度から農薬が水質管理目標設定項目に位置付けられ、総農薬方式により水質管理が行われるようになった。水道事業者では、効率的な水質管理を行うため、対象流域で流出可能性が高い農薬を事前に予測する必要がある。このような状況から、流域における農薬の流出状況の把握は、河川環境の管理や評価において不可欠の要素であると言える。

農薬の使用状況は、同一県内でも農作物の耕作状況の違いによって地域的な偏りが大きいため、流出量を求めるにはその地域情報を考慮した推定手段を用いる必要がある。農薬の流出状況は、実測<sup>2) 3)</sup>や予測モデルを用いた推定<sup>4) 5)</sup>により現況把握や評価の検討が行われている。これらの手法は、特定の農薬の河川中における挙動を知るのには適しているものの、多種類の農薬を対象とした包括的な流出状況の把握手段としては必ずしもなじまない。農薬の流出状況の予測には、流域別の推定流出量を比較的単純化した方法で包括的に算出できる手法を設定することが重要と考えられる。

本稿では、神奈川県内の河川流域を対象に、農薬の登録内容から使用法を特定し、作付面積等の土地利用面積情報と組み合わせて流域単位の農薬散布量を算出するとともに、農薬の流域への流出をモデル化し、流出量を推定する手法について検討したので、その結果を報告する。

#### 2 方法

##### 2.1 流出量算出の考え方

流域別流出量は、はじめに流域別散布量を算出し、この散布量に対して移流を考慮しない level II fugacity model をあてはめ、分解後の残留量と媒体別存在比を推定することにより算出した。

まず fugacity model を適用するために、農薬の散布と流出に関して、次の条件<sup>6)</sup>を設定した。

- (1) 農薬の流出しやすさを「平衡時における水相への存在しやすさ」とであるととらえ、水相に分配する農薬量を水域への流出量とみなす。
- (2) 農薬の散布環境を図1のように水田型と畑地型に区分する。
- (3) 畑地型では、降水量1mm以上の降雨時に土壌水分に分配する農薬が流出するとみなす。

ここで、水田型は大気、水及び土壌相の三相構成、畑地型は大気及び土壌相の二相構成とし、畑地土壌は30%の含有率で土壌水分を含むものとした。また、後述するようにこの土壌水分量から流出に寄与する有効土壌水相厚を定義した。なお、非湛水期に使用される水田農薬は、畑地型で推定した。

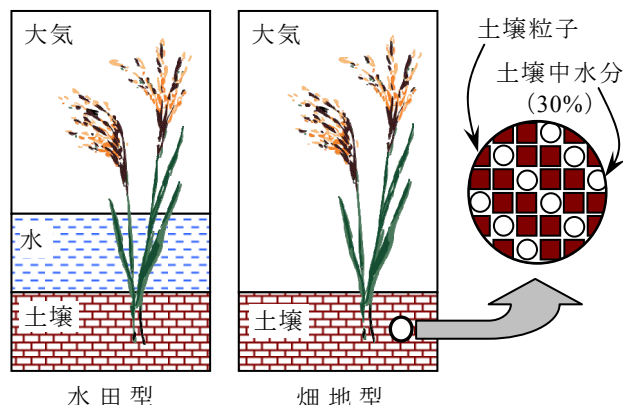


図1 散布環境モデル

## 2. 2 流域別散布量の算出方法

流域別散布量の算出フローを図2に示した。流域別散布量は、農地散布製剤については単位使用量(10アール当たり施用量)と作付面積の積の比、それ以外の製剤については散布面積の比で県内出荷量を配分して求めた。流域別の作付面積は、市区町村別作付面積を一度3次メッシュに分解し、これを流域単位に再編成することにより算出した。製剤の施用方法は、登録内容から、①製剤の希釈倍率、②散布回数、③散布液量及び④適用病害名または除草剤の使用時期区分を32種の作物ごとに特定した。このうち、④は標準的な散布時期と対応させ、「3-4月」、「5-6月」、「7-8月」及び「9-11月」の4期に分けた流出量を算出した。非農耕地用製剤は、④に関する適当なデータがないため、4~9月までの6カ月間に均等に散布されるものとした。

## 2. 3 流域別流出量の算出方法

移流を考慮しない level II fugacity model では、農薬の散布量  $I$  を散布環境への投入量と考え、(1)式が成立する。さらに、同一面積の散布環境モデルを考えた場合、(2)式から平衡後の各相の農薬量  $M(p)$  は、フガシティ容量・媒体相厚積  $Z(p)L(p)$  に比例するので、媒体別の分配比はこのフガシティ容量・媒体相厚積の比に相当する。媒体別のフガシティ容量  $Z(p)$  は後述の(3)~(5)式<sup>7) 8) 9) 10)</sup>で求めることができるため、媒体相厚  $L(p)$  を適切に設定すれば、2種の散布環境の水相への分配比が

算出できる。流域内の各散布環境に対する分解後の残留農薬量を求め、これに前記の分配比を乗じることにより、流域別流出量を算出した。媒体相厚  $L(p)$  は、大気相厚 200m、水田の水相厚 5cm、土壌相厚 5cm、畑地の土壌相厚を 20cm とし、畑地の有効土壌水相厚は、海老名 AMeDAS の過去5年間の降雨頻度をもとに 1.81cm に設定した。分解過程は水中の微生物分解のみを考慮し、分解の速度定数は(8)式に示す推定式<sup>11)</sup>から算出した。

$$I = \sum_p C(p)V(p)K(p) = f \sum_p Z(p)V(p)K(p) \quad (1)$$

$$M(p) = C(p)V(p) = f \cdot S \cdot Z(p)L(p) \\ = \frac{I \cdot S}{\sum_p Z(p)L(p)K(p)} \times Z(p)L(p) \quad (2)$$

$$Z(\text{air}) = \frac{1}{RT} \quad (3)$$

$$Z(\text{wat}) = \frac{1}{H} \quad (4)$$

$$Z(\text{soi}) = \alpha \cdot Kp \cdot \rho_{\text{soi}} / H \quad (\text{イオン性農薬以外の場合}) \quad (5)$$

$$Kp = 0.48 \cdot \gamma \cdot Kow \quad (\text{イオン性農薬の場合}) \quad (6)$$

$$Kp = \gamma \cdot Koc \quad (7)$$

$$\log \frac{K(\text{wat})}{8.76} = \\ -1.02(\log Kow)^2 + 4.96(\log Kow) - 5.23 \quad (8)$$

$C$  : 平衡時濃度 ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$ )

$f$  : フガシティ (Pa)

$H$  : Henry 定数 ( $\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ )

$I$  : 散布量 ( $\text{mol} \cdot \text{year}^{-1}$ )

$K$  : 分解速度定数 ( $\text{year}^{-1}$ )

$Koc$  : 有機炭素吸着定数 ( $10^{-3} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ )

$Kow$  : オクタノール/水分分配係数 (-)

$Kp$  : 土壌吸着定数 ( $10^{-3} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ )

$L$  : 媒体相厚 (m)

$M$  : 平衡後の媒体別農薬量 (mol)

$p$  : 媒体

$R$  : 気体定数 ( $8.31 \text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$S$  : 面積 ( $\text{m}^2$ )

$T$  : 絶対温度 (K)

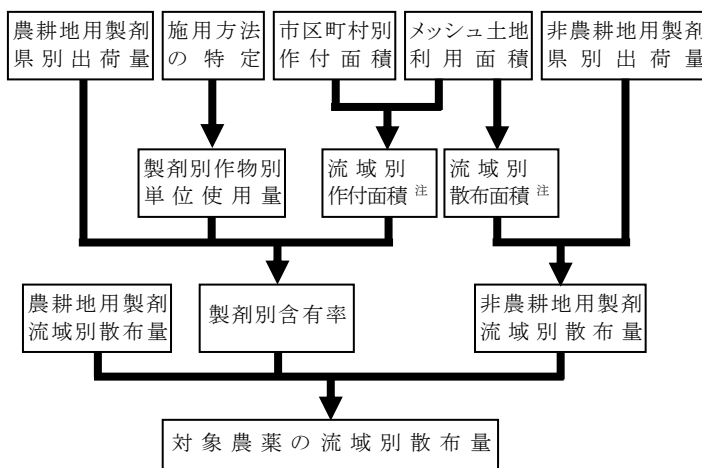
$V$  : 媒体体積 ( $\text{m}^3$ )

$Z$  : フガシティ容量 ( $\text{mol} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{Pa}^{-1}$ )

$\alpha$  : 土壌固相率 (畑地は 0.4, 水田は 0.5)

$\gamma$  : 土壌有機炭素含有率 (0.05)

$\rho_{\text{soi}}$  : 土壌粒子比重 ( $2700 \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )



注 市区町村から流域への面積変換は、次のメッシュ土地利用面積を配分指標として使用。

農耕地用(水稻)	: 水田面積
農耕地用(その他)	: その他の農用地面積
非農耕地用面積	: その他の土地面積+ゴルフ場
家庭園芸用	: 建物用地面積の1/2

図2 流域別散布量推定フロー

### 3 結果及び考察

#### 3.1 推定流出量と実測データの比較

2005 年度出荷量から推計した流域別流出量の年間値を県内水道事業者が実施した 2005 年度のモニタリング結果と比較した結果を図 3 に示した。流域別流出量は県内散布農薬を対象に推計するため、上流県からの流下がない河川として相模川水系の中津川、小鮎川、鳩川、玉川及び酒匂川水系の狩川について比較した。どの流域においても流域別流出量が多くなると、測定対象農薬のうち流出を確認した農薬の割合が高くなる傾向が見られた。このことから、この流出量を用いて、農薬の流出負荷の状況を判定することが可能と考えられる。

図 4 は、2005 年度出荷量から算出した年間の流域別流出量と 2006 年度モニタリング結果による検出状況の関係を示したものである。前年度流出量を使用した場合にも、図 3 と同様の傾向が認められた。一方、過去の出荷量から毎年の流出量を算出し、これを直線回帰により外挿して求めた 2006 年度の予測出荷量を使用すると、図 4 の場合に比べて 2006 年度の検出状況との乖離が大きくなった。この原因として、年による出荷量の変動

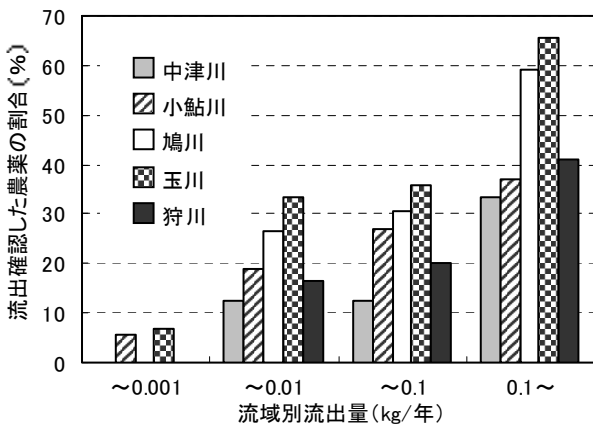


図 3 流域別流出量と流出確認割合 (2005 年度)

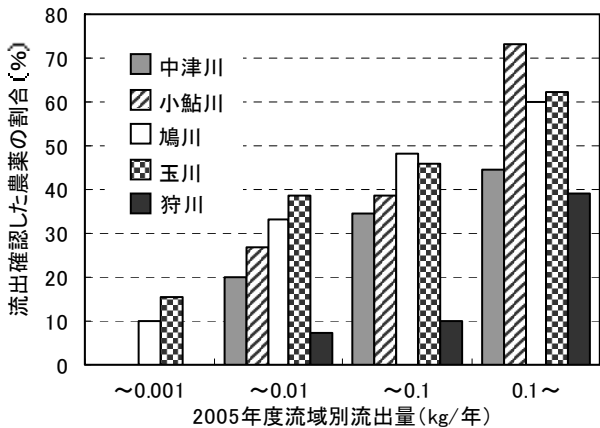


図 4 前年度流域別流出量と流出確認割合 (2006 年度)

が大きい農薬は推定誤差が大きくなるためと考えられた。以上のことから、流域別流出量は、前年度出荷量を直接使用して推定するのが妥当であると考えられる。

#### 3.2 時期別流出量の評価

2005 年度出荷量から推定した流域別流出量を用いて、2006 年度のモニタリング結果と比較を行い、時期別流出状況の評価を行った。前述の 5 河川について、モニタリングの期別最大濃度と期別流出量を用いて流出パターンを比較した。その結果、最大流出期が一致した割合は、中津川 79% (年間の検出農薬数は 24 種)、小鮎川 64% (同 36 種)、鳩川 72% (同 36 種)、玉川 75% (同 36 種) 及び狩川 88% (同 16 種) となった。

図 5 に、最大流出期が一致した例として、小鮎川のベンタゾン及び鳩川のダイアジノン、最大流

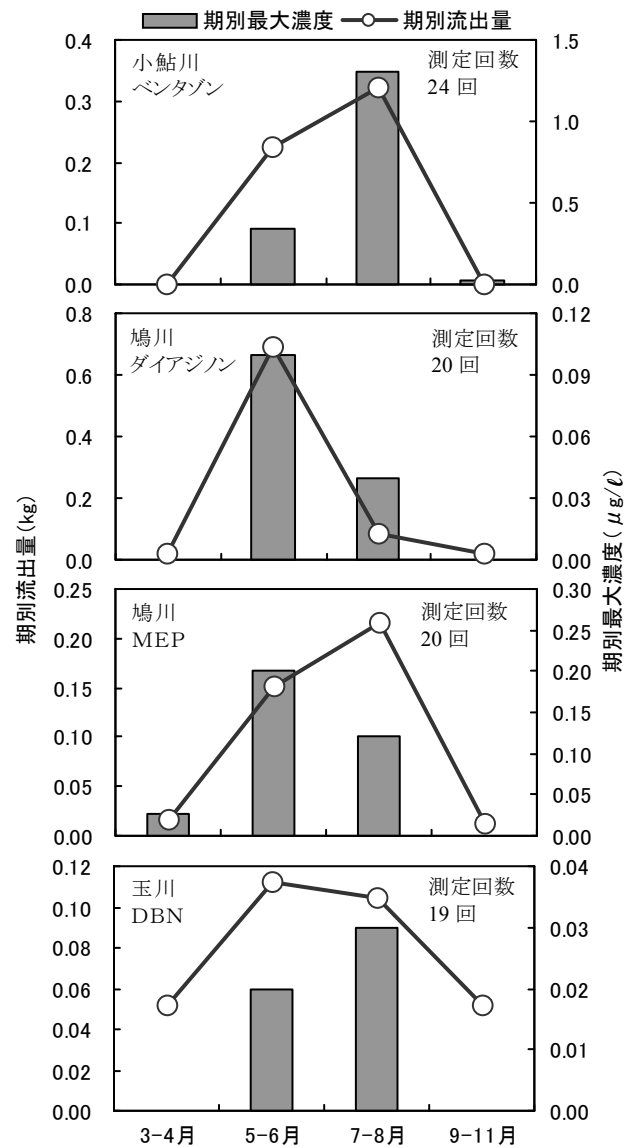


図 5 期別流出量と検出濃度の関係

出期が1期分ずれた例として鳩川の MEP, 玉川の DBN の状況を示した。また, 最大流出期が2期ずれたものは, 5 流域の検出農薬延べ 148 種中, 中津川の NAC, 鳩川のペノミルと NAC とアセフェート, 玉川のシマジンとイソキサチオンの6種のみであった。一部の農薬で最大流出期が一致しなかった原因の一つとして, 実際の散布時期がデータ化した製剤別の標準的な散布時期とずれていることが考えられる。

### 3. 3 人健康リスクからみた農薬流出負荷評価

3. 1 及び 3. 2 の検討から, 農薬の流出に起因する環境負荷も前年度出荷量から推定した流域別流出量を用いて比較することができると考えられる。そこで, 2005 年度の流域別流出量の年間値をもとに, 相模川と酒匂川における 2006 年度における農薬由来の環境負荷を算出した。環境負荷は, 人健康リスクからみた負荷指標値として, (9)式に示す ADI (許容1日摂取量) で重み付けした無次元数の RRI 値 (Runoff Risk Index) を算出し, 比較を行った。

$$RRI = \frac{\text{一日当たりの流域別流出量}}{50 \cdot ADI} \quad (9)$$

表1 流出農薬の環境負荷評価結果(2006 年度)

順位	相模川		酒匂川	
	農薬名	RRI	農薬名	RRI
1	ダゾメット ※	28	マンネブ	16
2	プロピネブ	14	マンゼブ	6.3
3	マンネブ	13	アシュラム	3.5
4	DEP	5.6	DEP	3.4
5	マンゼブ	4.4	ダゾメット ※	2.7
6	MITC	3.3	イミノクタジン	2.5
7	アセフェート	2.7	DDVP	2.0
8	ホスチアゼート	2.4	アセフェート	1.4
9	DDVP	2.1	MITC	1.3
10	イミノクタジン	2.1	プロピネブ	1.2
11	アシュラム	1.9	グルホシネート	1.1
12	MCP	1.8	ジネブ	0.70
13	ダイアジノン	1.3	ダイアジノン	0.67
14	グルホシネート	1.2	DMTP	0.62
15	ジネブ	0.77	ジメトエート	0.43
16	DCMU	0.73	MCP	0.37
17	ジメトエート	0.71	ホスチアゼート	0.35
18	シアナジン ※	0.44	ACN	0.22
19	MCPA	0.43	ベンチオカーブ	0.19
20	ACN	0.41	MEP	0.17

(注) ※が付されたものは, 土壌分解性が高い農薬。  
網掛けは, 2006 年度モニタリング非対象農薬。

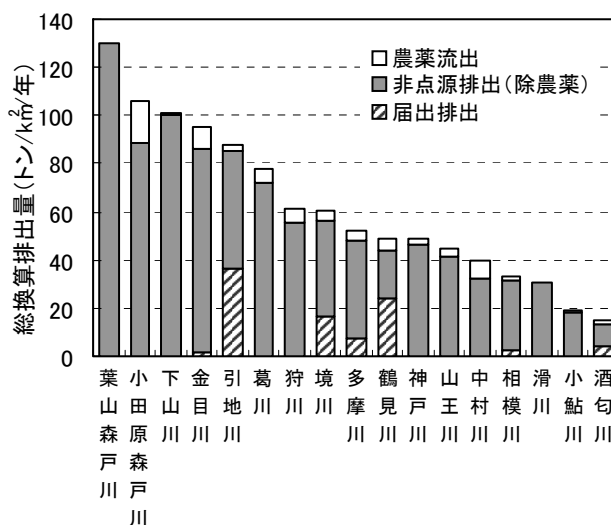
その結果, 両河川において, 環境負荷が大きいと考えられた農薬上位 20 種を表 1 に示した。どちらの流域においても, 半数は測定法が確立されていない等の理由から測定対象とされていない農薬であった。

なお, 本推定法では, 分解過程として考慮できたものは, 前述のように水中の微生物分解のみである。したがって, 土壌分解性の大きいダゾメットやシアナジンについては過大推計の可能性が大きいことに留意する必要がある。

### 3. 4 流域の環境負荷の発生源寄与

流域別の農薬流出量が算出できれば, これを PRTR データと組み合わせて河川の環境負荷の発生源寄与を推定することが可能である。ここでは, 神奈川県「化学物質の安全性影響度の評価に関する指針」<sup>12)</sup> で規定する毒性係数を用いて, 環境負荷を生態リスクからみた総換算排出量に変換し, 発生源寄与を算出した。なお, 農薬流出量は, PRTR の扱いに合わせて散布後の挙動を考慮しないこととし, 分解を考慮しない level I fugacity model で推定した。また, 農薬を除く非点源排出量は, 市区町村別排出量を排出源の区分に応じた統計指標で3次メッシュに配分し, これを流域単位に再編成して流域別排出量とした。2003 年度における主要河川の流域面積当たり総換算排出量を図 6 に示した。

どの流域も農薬以外の非点源排出の寄与が大きく, 平均で 87% を占めた。農薬流出の寄与が大きかったのは, 中村川 (19%), 森戸川 (16%), 酒匂川 (11%) など県西部の河川が多かったが, 鶴



※ 相模川は, 中津川と小鮎川を除き, 酒匂川は, 狩川を除く。

図 6 主要河川の流域面積あたり総換算排出量

見川（10%）など市街化の進んだ県東部の河川にもその寄与が無視できない河川があることが判った。一方、届出排出の寄与が最も大きかったのは鶴見川（49%）、引地川（42%）、酒匂川（28%）であった。届出排出の寄与が大きい流域では、このような解析により、届出事業所が排出先河川に与える負荷を具体的に示すことが可能となると考えられる。

#### 4 まとめ

農薬散布環境をモデル化し、農薬の施用方法、出荷量、散布対象面積等の公表データをもとに算出した流域別散布量に level II fugacity model をあてはめ、流域別農薬流出量を算出する手法を検討した。さらに、人健康リスクからみた負荷指標値を算出し、流出農薬の環境負荷評価を試行した。

その結果、次の知見を得た。

1) 年間の流域別流出量が多くなると検出される農薬の割合が高くなる傾向が見られたことから、流域別流出量により流出負荷の状況を判定することが可能と考えられた。

2) 県内出荷量確定値をもとに算出した前年度ベースの流域別流出量は、翌年度のモニタリングの検出状況とほぼ一致したことから、前年度ベースの流域別流出量を利用して翌年の流出状況を予測することが可能と考えられた。

3) 平均で 74% の検出農薬で最大流出期がモニタリング結果と一致した。

4) 本手法を用いて、流出農薬の環境負荷評価ができることを確認した。

#### 参考文献

- 1) 大塚知泰, 三島聡子, 川原博満: 第 39 回日本水環境学会年会講演集, 446 (2004).
- 2) 川寄悦子, 佐藤三訓, 須戸幹: 環境化学討論会予稿集, 15, 206~207 (2006).
- 3) 海老瀬潜一, 川村裕紀: 水環境学会誌, 29(11), 705~713 (2006).
- 4) 永淵修, Shat, E., 井上隆信, 海老瀬潜一, 浮田正夫: 水環境学会誌, 29(12), 809~813 (2006).
- 5) 稲生圭哉: 農業環境技術研究所報告, 23, 27~76 (2004).
- 6) 池貝隆宏: 環境情報科学論文集 20, 31~36 (2006).
- 7) Mackay, D.: Environ. Sci. Tech., 13 (10), 1218~1223 (1979).
- 8) Mackey, D., Paterson, S.: Environ. Sci. Tech., 15 (9), 1006~1014 (1981).
- 9) Karickhoff, S.W.: Chemosphere, 10 (8), 833~846 (1981).
- 10) Karickhoff, S.W.: Environmental Exposure from Chemicals, CRC Press (1985).
- 11) Kanazawa, J.: Environ. Monit. Assess., 9, 57-70 (1987).
- 12) 神奈川県: 化学物質の安全性影響度の評価に関する指針 (2005).

共同研究 [平成 17~18 年度]

課題名: 相模川, 酒匂川流域における農薬の流出量推定法に関する検討