

もれのないリスク評価のためにデータギャップをどう埋めるか？

－農薬の定量的生態リスク評価の事例報告

How can we fill the gap within the flawless risk assessment? -A case study of quantitative ecological risk assessment of pesticide-

○永井 孝志*

Takashi NAGAI

Abstract. Pesticide inventory as information infrastructure consists of several databases for ecological effect assessment and exposure assessment. In ecological effect assessment, ecotoxicity database was constructed by collecting ecotoxicity data for aquatic organisms. Laboratory ecotoxicity data was extrapolated to effect on actual ecosystem using species sensitivity distribution. In exposure assessment, pesticide physicochemical database, pesticide usage ratio database in each year, region, and application way, database on pesticide environmental fate in paddy water, land use and river flow databases were constructed. Temporal-spatial variability in predicted environmental concentration in river water was analyzed using the constructed databases. Ecological risk can be quantified by combination of species sensitivity distribution and temporalspatial variability in predicted environmental concentration. Several techniques for filling the data gaps in the pesticide inventory were also introduced.

Key Words: Regulatory science, Pesticide inventory, Database, Species sensitivity distribution,

1. はじめに

レギュラトリーサイエンスという文脈において、リスク評価の目的は「新たな知見を得る」ことではなく、リスク管理対策を「決める」ことである。我々が研究によって「知る」ことができるのは、全体像のうちわずかな部分でしかない。一方、化学物質のリスク管理では「部分的にしかわかっていない」ことを「決めなければいけない」場面が多い。このような研究と実務の間のギャップを埋

めるために、得られる情報を最大限に活用したリスク評価が必要となる。

農薬の適切なリスク管理対策を実行するためには定量的なリスク比較が欠かせない。例えば、有機リン系殺虫剤とネオニコチノイド系殺虫剤ではどちらがリスクが高いのか、同じ農薬でも本田散布と育苗箱に施用する方法ではどちらがリスクが高いのか、地域毎のリスクの変動がどの程度あってどの地域でリスクが高いのか、経年的にリスク

* 国立研究開発法人農業環境技術研究所 (National Institute for Agro-Environmental Science)

は増加しているのか減少しているのか、などがリスク評価に課せられる問いである。筆者はこれまで、後述する種の感受性分布 (Species Sensitivity Distribution, SSD) と、環境中予測濃度 (Predicted Environmental Concentration, PEC) の分布を組み合わせ、影響を受ける種の割合 (Potentially Affected Fraction, PAF) という指標を用いてリスクの定量化を行ってきた (永井ほか 2008; 永井ほか 2010; Nagai and Yokoyama 2012)。

ところが、現在日本で登録されている農薬は 500 種類以上あり、同じ農薬でも用途が様々であり、農薬使用の組み合わせはほぼ無限に存在し、また地域毎に使用実態も大きく異なり、さらに経年的にも農薬使用のトレンドは絶えず変化している。上記手法を用いたリスク評価手法は、データリッチな農薬のみを対象として開発してきたため、この無限に想定される場面において、もれのないリスク評価を行うことはほとんど不可能であった。そこで本論文では、もれのない農薬の生態リスク評価のための情報基盤の構築と、データギャップをどう埋めてきたか、という事例について紹介する。

2. 農薬インベントリーの構築

農薬インベントリーは、影響評価や曝露評価に必要な各種データベースから構成される (図 1)。影響評価においては、農薬の水生生物に対する毒性 (EC50 等) を収集・整理した農薬生態毒性データベースを構築した。曝露評価においては、水溶解度や土壌吸着性などの物理化学性データベース、農薬毎・地域毎・用途毎・年毎の農薬普及率 (農地全体の何%でその農薬が使用されているか) データベース、水田における農薬の消長を表す用途毎の水田環境動態データベース、河川水中濃度予測のための土地利用・河川流量データベースを構築した。

2. 1. 農薬生態毒性データベース

日本国内における農薬使用の特徴として、水稲用農薬の使用が多いことが挙げられる。特に水稲用除草剤は日本独特のものが多く、欧米での使用がほとんどないことから生態毒性データの蓄積が少ない。一方、水稲用農薬を対象とした日本国内での毒性試験の和文文献などは海外のデータベースには採用されにくく、これらの毒性データベースの整備は遅れている。さらに、水田で使用され

た農薬は灌漑用水を通じて河川に流出しやすく、生態リスク評価の優先度も高い。そこで筆者は、日本で主に使用されている水稲用農薬を対象とした生態毒性データベースの構築を行ってきた (永井 2013)。本データベースの構築に当たっては SSD の活用を念頭に置いているため、なるべく多種類の生物のデータを収録するようにしている。データの収集にあたっては、データの信頼性の確保が重要である。そこで、全ての得られたデータについては、OECD の高生産量化学物質点検マニュアルに従って、以下のように 4 段階の信頼性スコアを付けた: 1 信頼性有り、2 信頼性有り (制限付き)、3 信頼性なし、4 評価不能。特に、原著論文などの各種文献の毒性試験データの信頼性の評価は Hobbs et al. (2005) に従いスコア法によって行った。

収録データは、2015 年 9 月の時点で 2221 レコード (殺虫剤 1261、殺菌剤 176、除草剤 784) を収録し、農薬数は 70 種類 (殺虫剤 27、殺菌剤 9、除草剤 34) である。生物の分類群別に見ると、藻類と水草を合わせた一次生産者で 476 レコード、甲殻類と水生昆虫を合わせた水生節足動物が 984 レコード、魚類と両生類を合わせた脊椎動物が 592 レコード、その他 (貝類、貧毛類、絨毛虫類、ワムシ類、ヒル類など) が 169 レコードである。総生物種数は 216 種であり、中でも藻類が 50 種、甲殻類が 31 種、昆虫が 75 種、魚類が 33 種であった。

2. 2. 曝露評価のためのデータベース

生態リスク評価における曝露評価では、河川水中予測濃度 (PEC) を計算することがゴールである。現在、農薬取締法における生態リスク評価で使用される PEC 算定モデルでは、架空の流域において農薬を使用した場合の流出量を計算し、河川流量から濃度を計算する。この架空の流域における水田面積や、農薬の普及率、河川流量などは予めシナリオが決まっており、水質汚濁性試験による田面水中農薬動態データ、農薬の土壌吸着性や分解性などの物理化学性データを入力すれば農薬毎の PEC が計算される。

このうち、農薬の環境動態に大きく影響する水溶解度や土壌吸着性、環境中分解性などの、物理化学性についてのデータベースを構築した。また、水田における農薬の消長を表す農薬環境動態データベースについても構築した。有効成分が同じ農

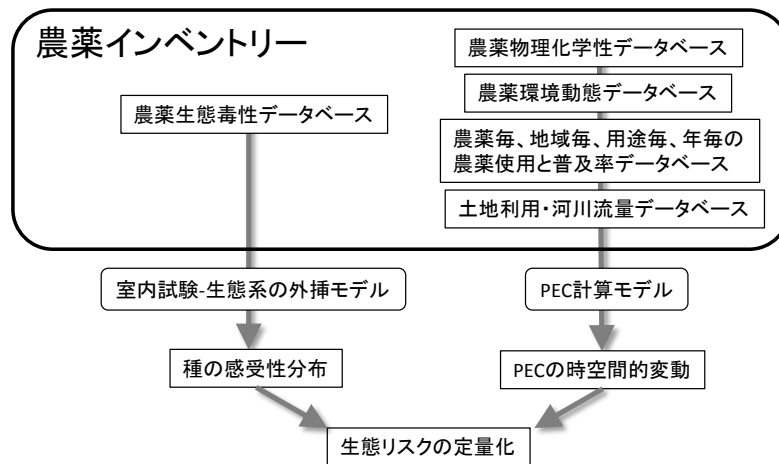


図 1. 農薬インベントリーを構成する各種データベースとその生態リスク評価への活用の流れ

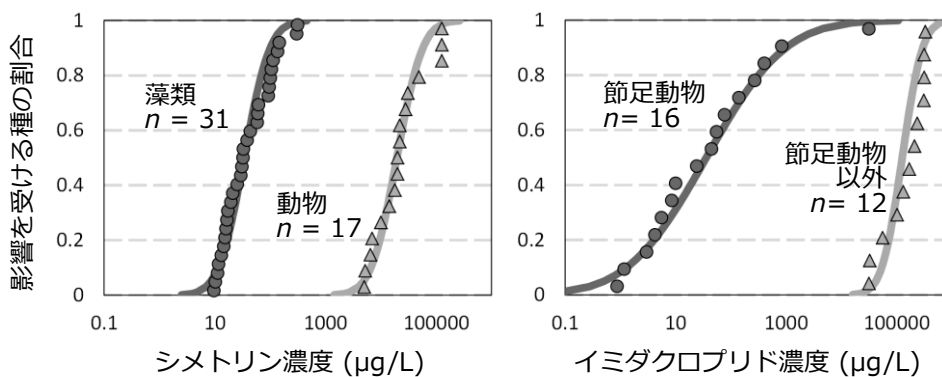


図 2. 除草剤シメトリン (左) と殺虫剤イミダクロプリド (右) の SSD 解析結果

薬でも、製剤の形状（粉剤、粒剤、水和剤など）によって動態は変化し、また散布方法（本田散布、育苗箱施用、無人ヘリコプターによる散布など）によっても動態は大きく変化する。このため、それぞれの用途毎にデータを整備する必要があった。実際の試験データが得られない場合には、水田環境における農薬の挙動予測モデル（PADDY, 稻生 2004）を用いて推定を行うなど、データギャップを埋める体制を整えた。

農薬の普及率については、農薬毎、地域毎、用途毎、年ごとに異なっているため、この実態をデータベースとしてまとめている。農薬の用途毎の使用量は統計データが無い場合、都道府県別の農薬出荷量をベースとして、農薬適用一覧などから用途毎の使用量を推定する手法を開発した（谷地ほか 2015）。また、流域における土地利用や河川流量も PEC に大きく影響する。具体的には水田面

積率が大きく、河川流量が少ない流域が PEC の高くなりやすい地点となる。そこで、流量年表に記載されている 350 地点の河川平水流量をデータベース化し、さらに、その流量観測地点から上流域における水田面積率を、GIS 上で国土数値情報を解析することで計算した。これらの結果から、PEC の高くなりやすさを 10 点満点で評価し、河川水中農薬濃度モニタリングの候補地点の探索に活用している。

3. 生態リスク評価への活用

農薬生態毒性データベースを用いて生態影響を評価する際に、室内毒性試験のデータを野外生態系への影響に外挿するモデルが必要となる。このモデルとして、種間の感受性差を統計学的分布として表現した SSD を用いた。曝露評価においては 4 つのデータベースを用いて、PEC 算定モデルを

通して PEC の空間的変動を解析した。種の感受性分布と PEC の空間的変動を統合することで生態リスクを定量化することが可能となる (図 1)。

生態系を構成する全ての生物種に対する毒性試験を行い、感受性のデータを得ることは現実的に不可能である。しかし、経験則により複数の生物種の感受性は対数正規分布に適合することが知られており、累積確率分布で感受性差を表現できる (図 2)。このように、生物種間の感受性差を統計学的な分布として表現したものが SSD である (Posthuma et al. 2002)。これにより、農薬濃度と影響を受ける種の割合 (PAF) の関係を推定し、農薬濃度から PAF が計算できるようになる。PAF は種の多様性にどれだけ影響があるか、という定量的な「生物多様性への影響度指標」として位置づけられる。トリアジン系除草剤のシメトリンの例 (永井ほか 2008) では、藻類とそれ以外の水生生物では感受性が明確に分離され (図 2 左)、ネオニコチノイド系殺虫剤のイミダクロプリドの例 (Nagai and Yokoyama 2012) では、節足動物とそれ以外の水生生物では感受性が明確に分離された (図 2 右)。

SSD 解析に必要なデータ数 (種数) は各国のガイドライン等によって異なるが、OECD (1995) においては 5 種以上とされている。農薬の場合は、感受性の高い分類群のデータを用いて解析する必要があり、殺虫剤で 5 種以上の節足動物、除草剤で 5 種以上の藻類の毒性データが必要となるが、この条件を満たす農薬は非常に限られている。このような、多種類の毒性データが無い場合に行う効率的な多種類同時毒性試験法 (Nagai et al. 2013; Nagai et al. 2015b) など、データギャップを補完する手法の開発を行った。この結果として、現在までに 68 種類の代表的な水稲用農薬の SSD を構築しており、その濃度からリスク指標の PAF を迅速に計算できる状況にある (Nagai 2015a)。それでもデータが無い場合農薬の場合においても、単一種の毒性データから SSD を推定するためのモデル (Nagai and Taya 2015c) を開発し、ほとんどの農薬について SSD を用いたリスク評価が可能な状況にある。

曝露評価における PEC の算定においては、標準的なシナリオの下で一つの数字が算出されるのが通常であるが、2.2. で示したように流域毎に PEC は大きく異なる。そこで、整備したデータベースを利用して全国 350 地点の流量観測地点における

PEC を計算して、全国的な空間的変動を示すことができる。農薬の普及率は都道府県レベルでのみ計算可能であるが、流量観測地点が位置する都道府県の普及率の値を用いることができる。このような解析により、農薬毎にどの地域で農薬濃度が高くなるかを予測することができ、リスク管理対策を策定する上で有用な情報が提供できる。また、普及率は公表されている統計データを使用して推定しているため、過去にさかのぼって計算することも可能であるため、地域毎の農薬濃度の長期的な時間変動も把握することが可能である。このような濃度のトレンドを把握することもリスク管理対策に有用となる。

PEC の時空間的変動と SSD を組み合わせることで、生態リスクの時間的変動や空間的変動が明らかとなる。このように、情報基盤とそれを活用した生態リスク評価手法を構築することで、「いつ、どこで、どんな農薬の生態リスクがどの程度か？」というあらゆる組み合わせの問いに迅速に答えを出すことが可能となる。

4. 今後の展望

想定される様々な場面において「もれ」なくリスク評価を行って適切に管理するためには、以下のような状況を打開しなければならない：(1) 散発的な研究で一般化できない、(2) データが不足していて評価できない、(3) 手法が複雑すぎて時間・労力・コストがかかり過ぎる。そしてさらに「もれの無いリスク評価」を達成するためには、情報基盤の整備や、その情報基盤を最大限活用するための各種ツールの開発、データの「もれ」を埋めるための補完手法の開発等が必要となる。データ補完手法については、多種類の毒性データが無い場合に種の感受性分布を推定するためのモデル、水田での環境動態を予測する PADDY モデル、水田での用途毎の使用量の推定モデル等を活用している。また、室内毒性試験と野外生態系のギャップを埋める手法として種の感受性分布を活用している。このように、リスク評価の仕事の多くの部分は、データの「もれ」を埋めて既存の知見をつなげることにある。

謝辞

農薬生態毒性データベースの構築と活用方法の検討は、環境省による「農薬水域生態リスクの新たな評価手法確立事業」の支援を受けて行った。

ただし、本論文の内容は環境省の見解ではなく、著者らの責任において取りまとめたものである。

参考文献

- Hobbs DA, Warne MSJ, Markich SJ (2005) Evaluation of criteria used to assess the quality of aquatic toxicity data. *Integr Environ Assess Manag*, 1, 174-180.
- 稲生圭哉 (2004) 水田環境における農薬の挙動予測モデルの開発と有効性の検証. 農業環境技術研究所報告, 23, 27-76.
- 永井孝志, 稲生圭哉, 堀尾剛 (2008) 不確実性を考慮した農薬の確率論的生態リスク評価: 水稲用除草剤シメトリンのケーススタディー. 日本農薬学会誌, 33, 393-402.
- 永井孝志, 稲生圭哉, 横山淳史, 岩船敬, 堀尾剛 (2010) 11 種の水稲用除草剤の確率論的生態リスク評価. 日本リスク研究学会誌, 20, 279-291.
- Nagai T, Yokoyama A (2012) Comparison of ecological risks of insecticides for nursery-box application using species sensitivity distribution. *J Pestic Sci*, 37, 233-239.
- 永井孝志 (2013) 農薬生態毒性データベースの構築とその活用. インベントリー, 11, 58-69.
- Nagai T, Taya K, Annoh H, Ishihara S (2013) Application of a fluorometric microplate algal toxicity assays for riverine periphytic algal species. *Ecotox Environ Saf*, 94, 37-44.
- Nagai T (2015a) Ecological effect assessment of 68 pesticides used in Japanese paddy field using species sensitivity distribution. *J Pestic Sci*, in press
- Nagai T, Taya K, Yoda I (2015b) Comparative toxicity of twenty herbicides to five periphytic algae and the relationship with mode of action. *Environ Toxicol Chem*, in press
- Nagai T, Taya K (2015c) Estimation of herbicide species sensitivity distribution using single-species toxicity data and information on the mode of action. *Environ Toxicol Chem*, 34(3), 677-684
- OECD, Manual for investigation of HPV chemicals. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris.
- OECD (1995) Guidance document for aquatic effects assessment. Organization for Economic Cooperation and Development, Paris.
- Posthuma L., Suter, G. W., Traas, T. P. (Eds) (2002) Species Sensitivity Distributions in Ecotoxicology (Environmental and Ecological Risk Assessment), Lewis Publishers, CRC Press.
- 谷地俊二、永井孝志、稲生圭哉 (2015) 水田使用農薬の県別用途別使用量の簡便な推定方法の開発. 日本農薬学会誌, in press