

環境運命・リスク推定モデルにおける不確定要因の伝播

岐阜大学大学院 学生員* 大坪和裕

岐阜大学工学部 正 員 東海明宏

岐阜大学流域環境研究センター 正 員 湯浅 晶

1. はじめに

化学物質の環境運命・リスク推定モデルには多くの不確定要因が存在する。これはモデルが限られた知見に基づいてたてられていることや、十分に検証されないモデルを用いざるをえないという点に起因している。環境運命・リスク推定モデルは、化学物質の環境運命予測、人体への摂取、人体内の薬物動態、健康への影響の4個のサブモデルの直列構造と考えられる。そのため前段でのサブモデルの不確定要因が後段のサブモデルへと伝播し、健康リスクの推定値は数オーダーにも広がる。そこで本研究では、サブモデルにおけるパラメータの値を条件付確率の考え方を用いることによって更新する。この更新されたパラメータ値によってリスクの不確定要因の低減効果を評価する。

2. 方法

2.1 環境運命・リスク推定モデル

環境運命リスク推定モデルは、図1に示す様な構造と考えることができる。j番目のサブモデルにおけるインプットとアウトプットの比を α_j とすれば、ある個人への健康リスクは次式のように示される¹⁾。

$$R = \omega \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \quad (1)$$

r : ある個人に対する健康リスク

ω : 単位量の汚染物質の環境投入量 (M/T)

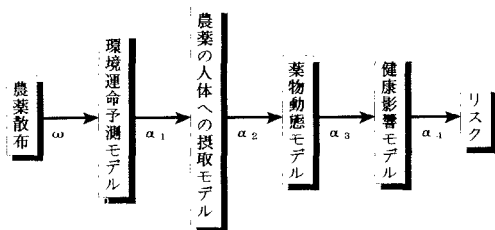


図1 環境運命・リスク推定モデルの概念図

2.2 条件付確率の考えに基づくデータの更新

モデルの結果の不確定さは、パラメータの値が不確定であることに起因する。その事前分布として与えられるパラメータを用いて得た計算結果に対して、状態変数の観測値が存在した場合を考える。この時、条件付確率の考え方を用いることによって、パラメータの不確定要因を低減した事後分布は式(2)で示される²⁾。

$$P(\theta|X) = \frac{L(X|\theta) \cdot P(\theta)}{P(X)} \quad (2)$$

$P(\theta|X)$: パラメータ θ の事後確率

$P(\theta)$: パラメータ θ の事前確率

$L(X|\theta)$: パラメータ θ に対して[観測値と計算値の誤差]Xの起こる総確率(尤度関数)

$P(X)$: [観測値と計算値の誤差]Xの起こる全確率(一定値)

ここで、尤度関数 $L(\theta|X)$ については観測値とモデルの計算値の誤差は正規分布するという仮定を用いており、モデルの状態変数がm個の時は次式で示される³⁾。

$$L(X_i|\theta) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_j} \right)^{m+n} \exp \left(-\frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_{ij} - u_j}{\sigma_j} \right)^2 \right) \quad (3)$$

x_{ij} : j番目の状態変数に対するi番目の観測値

u_j : j番目の状態変数の計算値

n : 状態変数jに対する観測値の個数

σ_j : 状態変数jの計算値と観測値の誤差に対する分散

(2)、(3)式を用いることによって、状態変数に関するパラメータの事後分布を求めることができる。

2.3 環境運命予測モデル

図1のモデルを水田に散布された農薬に適用する。このモデルでは、水と土壌間での農薬の吸脱着、大気への揮発、河川への流出、分解作用を考慮する。これらの作用を考慮した物質収支式は以下のように定式化できる。

$$A_w \frac{dC_w}{dt} = A_w p(i) - A_w q C_w - A_w (K_w + K_{wa}) h_w c_w - K_{sw} A_w h_s \gamma_s C_s - K_{ws} A_w h_w C_w \quad (4)$$

$$A_w \frac{dC_s}{dt} = -K_s A_s h_s C_s - K_{sw} A_w h_s \gamma_s C_s - K_{ws} A_w h_w C_w \quad (5)$$

C_w : 水田水中の農薬濃度 (mg/m³)
 C_s : 水田土壌の農薬濃度 (mg/m³)
 A_w : 水田面積 (m²)
 $p(i)$: 農薬散布速度 (mg/m²/day)
 q : 単位面積当たりの流出流量 (m/day)
 K_w : 水中分解速度定数 (1/day)
 K_{wa} : 揮発速度定数 (1/day)
 K_{sw} : 水から土壌への吸着速度定数 (1/day)
 K_{ws} : 土壌から水への吸着速度定数 (1/day)
 h_w : 水深 (m)
 h_s : 土壌有効吸着厚さ (m)
 γ_s : 土壌密度 (t/m³)
 K_s : 土壌中分解速度定数 (1/day)
 t : 時間 (day)

3. 事例適用

3.1 対象流域について

モデルの対象流域の一つとして神奈川県の大田川流域を選んだ。流域面積は約27.6km²、水田面積は約700haあった。対象物質として、CNP、ベンチオカーブ、シメトリンを取り上げた。観測値は1979、1980年の6月7

日から50日間の観測に基づき算出された各農薬の流出率を用いた。流出率の観測値を表1に示す。

表1 渋田川流域の農薬流出率の観測値¹⁾

	流出率(1979)	流出率(1980)
C N P	0.11	0.22
ベンチオカーブ	1.94	1.44
シメトリン	2.39	1.70

$$\text{流出率} = \frac{\text{農薬総流出重量}}{\text{農薬散布総重量}} \times 100$$

3.2 結果

(4)、(5)式での各パラメータの影響度を知るため感度解析を行った。その結果を図2に示す。この結果は各パラメータ値を一定値に固定しておき、1つのパラメータ値を順に10%増加させた場合である。

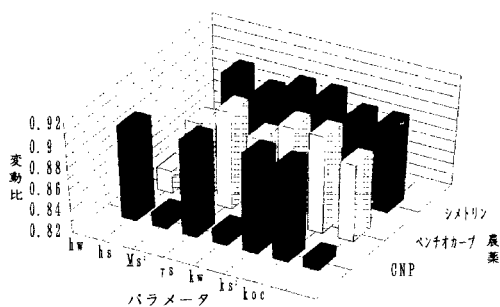


図2 パラメータを10%増加させた場合の感度解析の結果

渋田川への適用結果として各農薬の流出率の事前分布と事後分布の平均と分散の違いを表2に示した。各農薬ともに事前分布より事後分布の方が分散が低減されていることがわかる。平均値についても観測値に近い値が得られた。パラメータに対する事前分布と事後分布の分散の違いを表3に示す。土壌中の挙動に関するパラメータの分散が最も低減されている。図3、図4にパラメータの事前分布と事後分布の分布型の比較例を示す。

表2 農薬流出率の事前分布と事後分布の平均、分散の比較

	事前分布		事後分布	
	平均	分散	平均	分散
CNP	0.423	1.843	0.278	0.358
ベンチオカーブ	3.711	66.600	1.779	3.208
シメトリン	4.916	59.170	2.178	3.932

表3 各パラメータの事前分布と事後分布の分散の比較

	事前	事後		事前	事後
hw	7.500×10^{-2}	7.500×10^{-2}	Kw ベンチオカーブ	5.049×10^{-6}	5.049×10^{-6}
hs	3.008×10^{-2}	6.828×10^{-3}	Ks ベンチオカーブ	2.408×10^{-6}	2.408×10^{-6}
Ms	8.333×10^{-4}	3.397×10^{-4}	Koc ベンチオカーブ	3.763×10^{-4}	3.763×10^{-4}
rs	3.008×10^{-2}	2.861×10^{-2}	Kw シメトリン	9.363×10^{-4}	9.363×10^{-4}
Kw CNP	5.208×10^{-7}	5.208×10^{-7}	Ks シメトリン	3.745×10^{-3}	1.143×10^{-3}
Ks CNP	2.083×10^{-6}	2.083×10^{-6}	Koc シメトリン	1.925×10^{-3}	5.230×10^{-3}
Koc CNP	7.296×10^{-4}	7.091×10^{-4}			

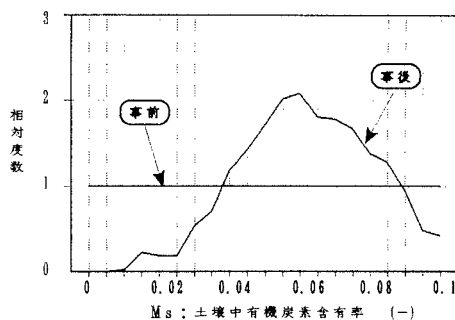


図3 Msの事前分布と事後分布の比較

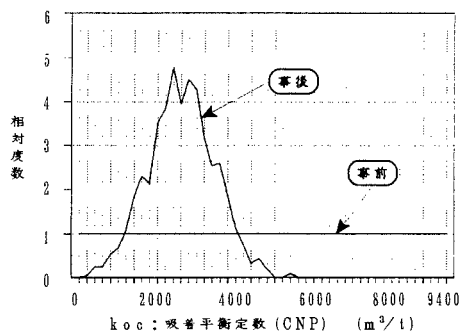


図4 Kocの事前分布と事後分布の比較

4. 考察

以上の結果より、条件付確率の考え方をを用いることによって、計算結果の分散を低減できることがわかった。各パラメータの事前、事後の分散を表3に示す。パラメータの種類によって分散の低減効果が異なる。この理由を感度解析の結果と合わせて考えると、モデルの計算結果への影響が大きいパラメータほど分散を低減していることがわかった。

【参考文献】

- 1) Mitchel Small Value of information in an integrated EHRA (Environmental Health Risk Assessment Model): Bayesian Updates of Uncertainty and their propagation, Risk Analysis, in print (1994).
- 2) 国府田恒夫: 統計学序説, 培風館, pp. 305-332 (1990)
- 3) David W. Dilks, Raymond P. Canale and Peter D. Meier: Development of Bayesian Monte Carlo techniques for water quality model uncertainty, Ecological Modeling, 62, 149-162 (1992)
- 4) 飯塚宏栄, 岩無才次郎: 水田除草剤の河川への流出, 用水と廃水24, 6, pp. 629-635 (1982)