

S2-3 わが国におけるリスク評価モデル(案)の計算式

○¹福浦清・¹奥田信康・¹伊貝聡司・¹リスク評価活用方法検討部会
¹(社) 土壤環境センター

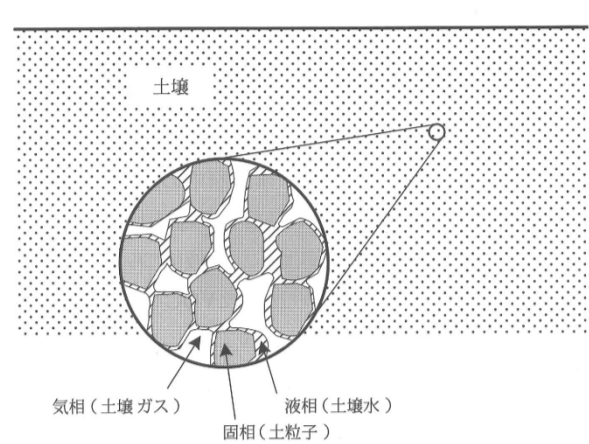
はじめに

1. 筆者らの成果の一つとして、わが国の土壌・地下水汚染対策において活用するためのリスク評価モデル(案)において使用する計算式を提案する。本部会の前身である「リスク評価適用性検討部会」から継続して調査対象としてきた国内外6つのリスク評価モデルで使用されている計算式を吟味し、わが国における活用方法に照らして適用性の高いものを選択し、独自の考え方に基づく式を加えて作成したものである。

2. 土壌環境から受容体に至る曝露経路をいくつかの段階に分解して計算式を整理することにより、モデルの理解を容易にしてブラックボックス化することを防ぐとともに、将来の知見の集積による改訂や拡張も容易になるよう工夫した。

対象とする曝露経路

①②三相分配式



$$C_{pw} = \frac{\rho_s}{\theta_{ws} + k_d \times \rho_s + H \times \theta_{as}} \times C_s$$

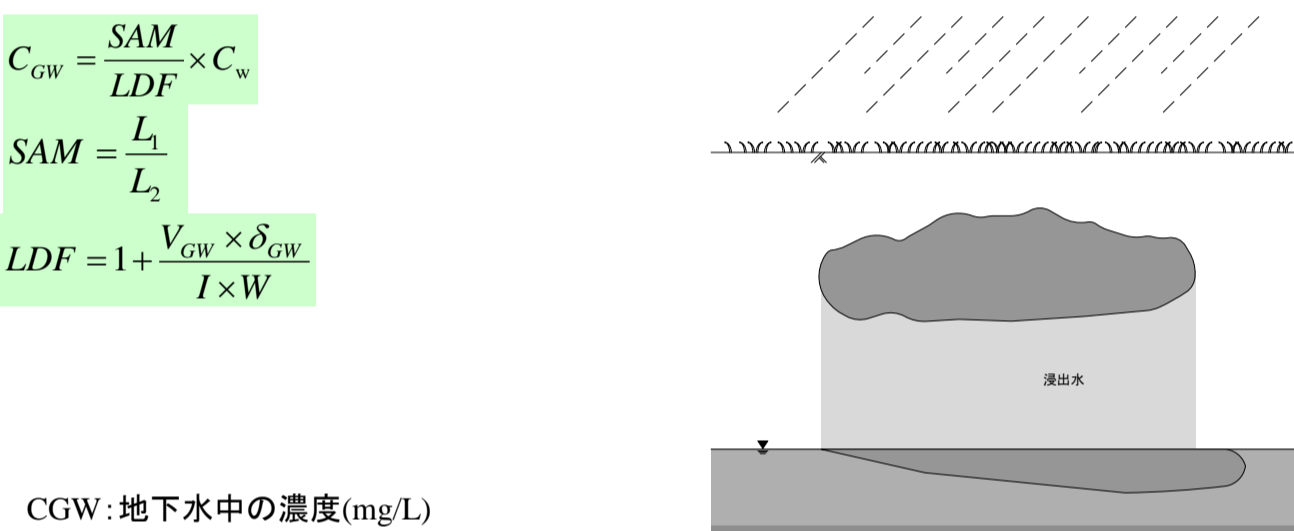
$$C_a = \frac{H \times \rho_s}{\theta_{ws} + k_d \times \rho_s + H \times \theta_{as}} \times C_s$$

C_{pw} : 土壌間隙水中の濃度(mg/L)
 C_a : 土壌間隙空気中の濃度(mg/L)
 C_s : 土壌全含有量(mg/kg)
 ρ_s : 土壌乾燥密度(kg-soil/L-soil)
 k_d : 土壌-水分分配係数($\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O/g-soil}$)
 θ_{ws} : 不飽和帯土壌の体積含水率($\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O/cm}^3\text{-soil}$)
 θ_{as} : 不飽和帯土壌の体積含気率($\text{cm}^3\text{-air/cm}^3\text{-soil}$)
 H : ヘンリー定数($\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O/cm}^3\text{-air}$)

表1-1 RBCA方式とCSOIL(フガシテイ)方式の特色

項目	RBCA		フガシテイ	
	長所	短所	長所	短所
モデルの分かりやすさ	理解しやすい	-	-	フガシテイの原理が理解し難い
非平衡、非定常状態への対応	-	考慮できない	-	考慮できない
適用濃度	-	低濃度 (NAPLは別途考慮)	-	低濃度 (NAPLは別途考慮)
温度	-	考慮不可	考慮可能	-

⑧水経由(土壌中濃度→地下水)



$C_{GW} = \frac{SAM}{LDF} \times C_w$
 $SAM = \frac{L_1}{L_2}$
 $LDF = 1 + \frac{V_{GW} \times \delta_{GW}}{I \times W}$

CGW: 地下水中の濃度(mg/L)
 C_w : 汚染源の土壌間隙水中の濃度(mg/L)
 SAM: 土壌中の垂直移動による減衰率(-)
 LDF: 浸出水の希釈率(-)
 L_1 : 汚染源土壌の厚さ(cm)
 L_2 : 汚染源土壌の上端から地下水までの距離(cm)
 V_{GW} : 地下水流速(cm/year)
 δ_{GW} : 地下水混合層の高さ(cm)
 I : 地下水涵養量(cm/year)
 W : 地下水に沿った汚染源の長さ(cm)

SAMは汚染源の分布が把握できており、かつ、NAPLが存在しない場合に適用可能なオプションとし、適用不可の場合は、デフォルト値として1を入力する。

⑬土壌皮膚接触

二つの式を併記し、別途感度解析等の結果をもって最終選択を行うものとした。

候補1では皮膚吸収率を時間当たりの吸収率とし、1日あたりの曝露時間を別パラメータとしてこれらの積で1日あたりの吸収率を計算するのに対し、候補2では土質と汚染物質の物性をパラメータとして体内への吸収と揮発による消失速度を考慮した比較複雑な式により皮膚吸収率を計算する。

(候補1)
 1日あたりの曝露量
 $= \text{露出皮膚面積} \times \text{皮膚付着土壌量} \times \text{皮膚吸収率} \times \text{マトリクスファクター} \times \text{曝露時間} \times \text{土壌含有量}$

(候補2)
 1日あたりの曝露量 $= \text{露出皮膚面積} \times \frac{\text{含有量} \times \text{濃縮係数} \times \text{土壌乾燥密度} \times \text{皮膚透過係数}}{\text{吸着による消失係数} + \text{揮発による消失係数}} \times (1 - \exp(-(\text{吸着による消失係数} + \text{揮発による消失係数}) \times \text{曝露時間}))$

⑱シャワー経由

シャワー経由の曝露量を、揮発した有害物質の吸入による曝露と皮膚接触による曝露の合計として計算する。

吸入による一日あたりの曝露量 $= \text{浴室空気濃度} \times \text{室内での呼吸量} \times \text{浴室滞在時間}$

皮膚接触による一日あたりの曝露量 $= \text{地下水濃度} \times \text{接触する皮膚面積} \times \text{浴室滞在時間} \times \text{皮膚吸収率} \times (1 - \text{揮発率})$

浴室空気濃度はシャワー使用水量、地下水濃度、浴室容積と揮発率を用いた下式から計算する。有機化合物のみを対象とし、重金属および無機化合物は考慮しない。

$$C_{dw} = \frac{C_{sh} \times k_{Lcal} \times k_{Gcal}}{k_{Lcal} \times k_{Gcal} + \left(\frac{H_{sh}}{R_{gas} \times T_{sh}} \times k_{Gcal} \right) + k_{Lcal}} \times \frac{tf \times 3}{rd}$$

中の濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) k_{wa} : 揮発率 (-)
 量 (m^2) H_{sh} : シャワー温度におけるヘンリー定数 ($\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$)
 C ($\mu\text{g}/\text{L}$) R_{gas} : 気体定数 ($8.3144 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}/\text{K}$)
 I (m^2) T_{sh} : シャワー温度 (K)
 k_{Gcal} : ガス物質輸送定数 (m/s)
 k_{Lcal} : 液体物質輸送定数 (m/s)
 tf : 水滴の落下時間 (s)
 rd : 水滴の半径 (m)
 $3/rd$: 水滴の面積 [m^2]/水滴の体積 [m^3] ($= 4\pi rd^2 / (4/3\pi rd^3)$)

おわりに

本報告のモデル案を実際に土壌地下水汚染対策の検討において使用可能なものとするため、計算式を併記した場合の選択方法の提示や計算式グループ間の整合性の確認、パラメータの整理とデフォルト値の整備等、モデルの検証および修正を行っていく予定である。

②④土壌ガス(または土壌)→屋外空気

表層土壌から屋外空気経路の算定式として、RBCA方式とCSOIL方式が提案されている。わが国のモデル式として使用する場合、現時点では、どちらかに決定することが困難なので併記し、サイト状況に合わせ解析者に選択してもらうこととした。

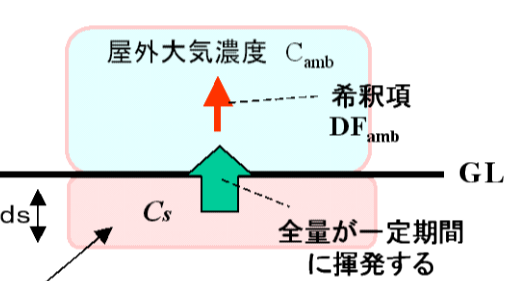
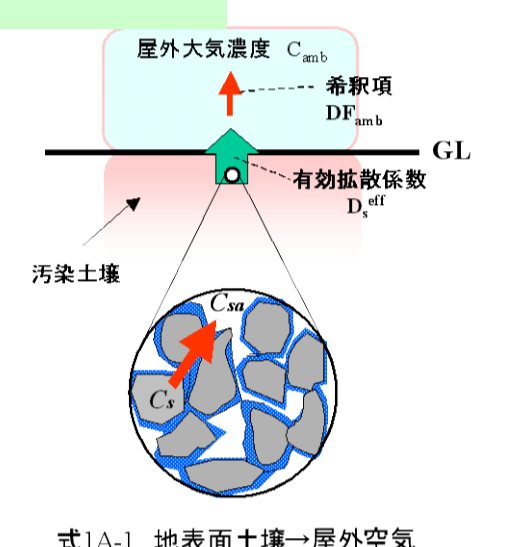
(1) RBCA方式

下記2つの式を計算し、より小さい値を採用する。

(式A-1) $C_{amb} = \left(\frac{2 \times \rho_s}{DF_{amb}} \right) \times \sqrt{D_s^{eff} \times \frac{H}{\pi} \times \tau \times 31536000 \times (\theta_{ws} + k_d \rho_s + H \theta_{as})} \times C_{ss} \times 10^3$

(式A-2) $C_{amb} = (\rho_s \times \frac{d}{\tau} \times DF_{amb} \times 31536000) \times C_{ss} \times 10^3$

C_{amb} : 屋外空気中の濃度(mg/m^3)
 C_{ss} : 表層の土壌固相濃度(mg/kg)
 DF_{amb} : 屋外における希釈項(m/sec) → 計算式
 D_s^{eff} : 不飽和帯土壌の有効拡散係数(m^2/sec) → 計算式
 ρ_s : 土壌乾燥密度($\text{kg-soil}/\text{L-soil}$)
 k_d : 土壌-水分分配係数($\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O/g-soil}$)
 θ_{ws} : 不飽和帯土壌の体積含水率($\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O/cm}^3\text{-soil}$)
 θ_{as} : 不飽和帯土壌の体積含気率($\text{cm}^3\text{-air/cm}^3\text{-soil}$)
 H : ヘンリー定数($\text{cm}^3\text{-H}_2\text{O/cm}^3\text{-air}$)
 d : 表層土壌の厚さ(m)
 τ : 揮発のための平均時間(year)
 $\rightarrow 1 \text{ year} = 31536000 \text{ sec}$ 換算



(2) CSOIL方式

汚染土壌から地上空気への揮発流束を土壌と大気との境界層を通過する境界流束J2、土壌から境界層への水の蒸発流束J3、土壌から境界層への揮発拡散流束J4に分解したうえで、J2 若しくは J3 + J4 の値の小さい方として求める。

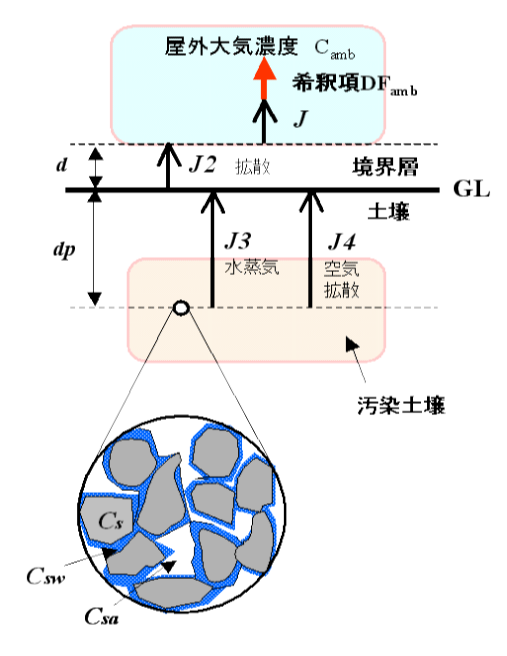
$$C_{amb} = \frac{J}{DF}$$

$$J = \min \{ J_2, J_3 + J_4 \}$$

$$J_2 = \frac{D_{air}}{d} \times C_{sa} \times 10^3$$

$$J_3 = \frac{E_{vs}}{24} \times 3600 \times C_{sw} \times 10^3$$

$$J_4 = D_s^{eff} \times \frac{\rho_s}{dp} \times C_{ss} \times 10^3$$



⑩⑪農作物経由

根からの吸水による植物体内への濃縮と、浮遊粉塵の葉への付着による植物体内への濃縮の両方を考慮し、それらの合計として曝露量を計算する。

(1) 吸水による生物濃縮(重金属の場合)

地上の野菜/葉菜: $C_{st} = BCF_{s,fw} \times C_s$

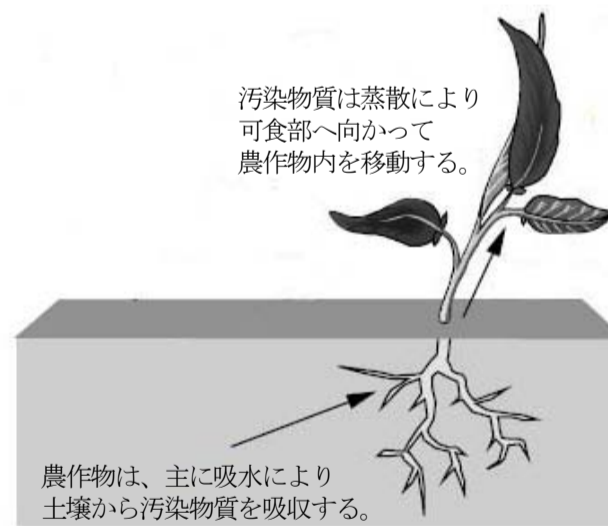
地下の野菜/根菜: $C_{ro} = BCF_{r,fw} \times C_s$

(有機化合物の場合)

地上の野菜/葉菜: $C_{st} = BCF_{s,fw} \times C_w$

地下の野菜/根菜: $C_{ro} = BCF_{r,fw} \times C_w$

C_{st} : 農作物の上部(茎と葉)の濃度(湿潤重量)(mg/kg_{fw})
 C_{ro} : 農作物の根の濃度(湿潤重量)(mg/kg_{fw})
 $BCF_{s,fw}$: 茎の生物濃縮係数(湿潤重量)
 $BCF_{r,fw}$: 根の生物濃縮係数(湿潤重量)
 【BCFの単位】重金属: (mg/kg_{fw})/($\text{mg}/\text{kg}_{dry \text{ soil}}$)
 有機化合物: (mg/kg_{fw})/($\text{mg}/\text{L}_{soil \text{ water}}$)
 C_s : 全含有量(気相、水相、固相の総濃度)(mg/kg)
 C_w : 土壌間隙水濃度(mg/L)



(2) 浮遊粒子の付着による生物濃縮

$$C_{dep} = TSPo \times DRo \times frso \times Cs \times \frac{Fin}{Yv \times fEi} \times \left(1 - \frac{1 - e^{-fEi \times Te}}{fEi \times Te} \right) \times 10^{-6} \times Fdws$$

C_{dep} : 浮遊粒子の付着による植物の濃度(mg/kg_{fw})
 $TSPo$: 外気における浮遊粒子濃度(mg/m^3)
 DRo : 付着速度(屋外)(m/d)
 $frso$: 浮遊粒子中の土壌存在率(-)
 C_s : 全含有量($\text{mg}/\text{kg}_{dry \text{ soil}}$)
 Fin : 作物による付着妨害因子(-)
 Yv : 平方メートル辺りの作物収穫量(kg/m^2)
 fEi : 風化係数(1/day)
 Te : 作物の栽培期間(day)
 $Fdws$: 茎の乾燥/湿潤重量比($\text{kg}_{dw}/\text{kg}_{fw}$)

