

II-383

フォールアウト¹³⁷Csの水田環境内移行

— ファジィシステムモデルによる評価の試み —

京都大学工学部 正会員 森澤眞輔
京都大学工学部 正会員 井上頼輝
野村総合研究所 野村武司

1. はじめに

極微量の有害物質の環境汚染物質の人体影響を長期にわたって評価しようとする場合には、環境に負荷された物質の生態学的な動態を、それらの人を含む環境構成要素間での移行と分配を長い時間スケールによって把握する必要がある。評価モデルは評価対象が大きく複雑であるため、必然的に多種類の移行・分配プロセスや環境パラメータが含まれ、しかもそれらについての正確な数値が得られない場合が多い。ここでは、比較的関連データが入手しやすいフォールアウト¹³⁷Csに注目し、ファジィシステムモデルを構成してその水田環境内動態を評価することを試みる。

2. ファジィシステムモデル

評価対象の水田環境内での¹³⁷Csの移行を模式化して図-1に示す。同図には12の移行経路（R.1～R.12）が含まれ、各移行経路には数種類のパラメータが含まれる。これらの移行プロセスの支配方程式があいまいでありかつ環境パラメータがあいまいであるモデルをここではファジィシステムモデルと呼ぶことにする。図-1に示した各経路による¹³⁷Csの移行の支配方程式は常微分方程式で与えられる（コンパートメントモデル）と仮定して、この関係をファジィ関係と見なす。すなわち、第*i*コンパートメントについての支配方程式で記述される関係（クリスプな関係と呼ぶ）

$$dM_i/dt = \sum_j R_{ji} - \sum_j R_{ij} - \lambda M_i \quad (i \neq j) \quad (1)$$

への帰属度関数 μ_{Ri} を次式によって定義し、ファジィ関係を定量的に記述する。

$$\mu_{Ri} = \exp \left[- \{ (N_i - M_i) / f_u \cdot M_i \}^2 \right] \quad (2)$$

ここに、 M_i は第*i*コンパートメントにおける¹³⁷Csの存在量の計算値、 N_i は同じく¹³⁷Csの存在量（の評価値）、 R_{ij} は第*i*コンパートメントから第*j*コンパートメントへの¹³⁷Csの移行率、 λ は¹³⁷Csの物理的崩壊定数、 f_u はここで導入するあいまい度係数である。 μ_{Ri} はあいまいさのグレードとも呼ばれ、

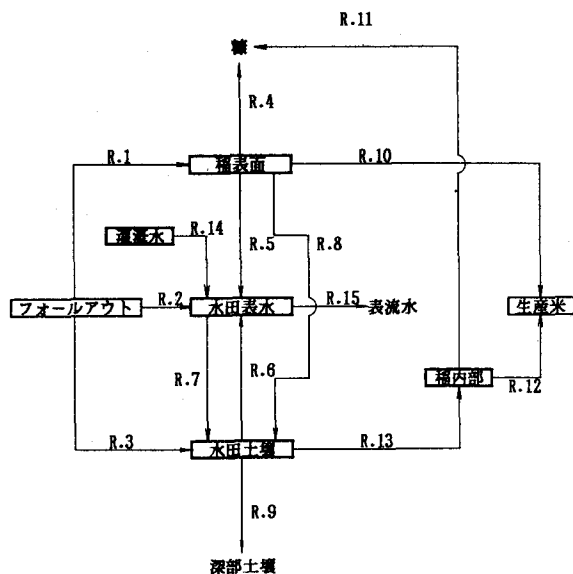


図-1 水田環境中でのフォールアウト¹³⁷Csの動態

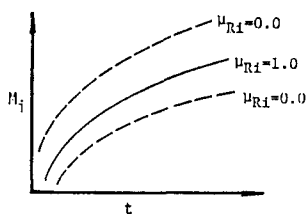


図-2 ファジィ関係（例示）

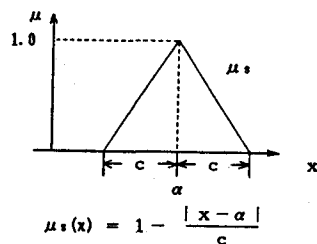


図-3 三角型ファジィ数（例示）

^{137}Cs の存在量 N_i が式 (1) により記述される関係に属する程度を表している。 $0.0 \leq \mu_{Ri} \leq 1.0$ である。式 (1)、(2) で表されるファジィ関係を模式的に図-2に示す。

式 (1) 中に含まれるパラメータを三角型の対称形ファジィ数で表現する。三角型のファジィ数は

$$\mu_s(x) = 1.0 - |x - \alpha| / c \quad (3)$$

で与えられる（図-3参照）。 $\mu_s(x)$ は x がファジィ数 s に属する程度を表す帰属度関数である。

$0.0 \leq \mu_{Ri} \leq 1.0$ であり、 $x = \alpha$ のとき $\mu_s(x) = 1.0$ （クリस्प数）となる。

3. シミュレーション結果

図-1に示した各経路毎に關係のあいまい度係数 f_u （表-1参照）とパラメータのファジィ数（表-2参照）を設定し、新潟県を対象にして実施した生産米中 ^{137}Cs 濃度のシミュレーション結果を図-4に示す。図中の破線はそれぞれアッパーレベル及びロウアーレベル推定値を、実線はクリスパレベル（式 (1) による）推定値を表している。同図は推定値と実測値との良好な一致を示している。

4. おわりに

あいまいな環境パラメータあるいは移行關係のあいまいさを決定するための支援システムを準備する必要がある等なお検討を要する事項が多く残されているが、ファジィシステムモデルによりフォールアウト ^{137}Cs の水田環境内移行を推定評価する実用的な手法を構成することができたといえる。

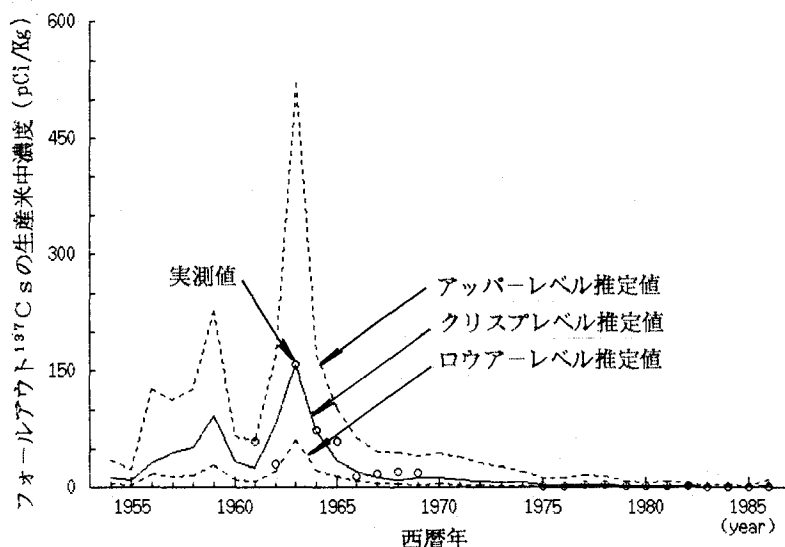


図-4 生産米中 ^{137}Cs 濃度の経年変化（新潟県）

表-1 各移行経路における移行關係のあいまいさ

移行経路	あいまいさ	あいまい度係数
70-70外→稲表面	小さい	$0.25 \times \lambda$
70-70外→水田表水	小さい	$0.25 \times \lambda$
70-70外→水田土壌	小さい	$0.25 \times \lambda$
稲表面→籾	大きい	λ
稲表面→水田表水	大きい	λ
水田土壌→水田表水	大きい	λ
水田表水→水田土壌	大きい	λ
稲表面→水田土壌	大きい	λ
水田土壌→深部土壌	大きい	λ
稲表面→生産米（米穀）	大きい	λ
稲内部→籾	中程度	$0.50 \times \lambda$
稲内部→生産米（米穀）	中程度	$0.50 \times \lambda$
水田土壌→稲内部	クリスパ	-
水田表水→表流水	クリスパ	-
$\lambda = 0.5^a$		

表-2 シミュレーションに採用したパラメータ値

環境パラメータ	単位	値 ^{a)}
洗浄速度定数（稲表面からの洗浄）	月 ⁻¹	(1.5, 0.15)
環境減衰定数（崩壊+深部浸透）	月 ⁻¹	(0.023, 0.0046)
収着係数（水田表水→水田土壌）	月 ⁻¹	(0.25, 0.025)
脱着係数（水田土壌→水田表水）	月 ⁻¹	収着係数/ K_d ^{b)}
吸収係数（稲表面→玄米）	月 ⁻¹	(0.07, 0.035)
吸収係数（稲内部→玄米）	月 ⁻¹	(0.1, 0.02)
吸収係数（水田土壌→稲内部）	月 ⁻¹	(0.8, 0.16)
分配係数（白米-籾）	-	(0.4, 0.08)
分配係数（土壌-灌溉水） K_d	m^3/ton	100 ^{c)}
沈着係数（70-70外→稲表面）	-	稲の生育に比例 ^{c)}
物理的崩壊定数	月 ⁻¹	1.9×10^{-3} ^{c)}

A) ファジィ数表示（中央値、幅）、B) クリスパ關係 C) クリスパ數