

1. 基本情報

区分	森林	担当者名	熊谷博史
タイトル (英文)	A three-dimensional stochastic model of the behavior of radionuclides in forests I. Model structure		
タイトル (和文)	森林の放射性核種の挙動を予測する三次元確率論的モデル I、モデル構造		
キーワード	Forest ecosystems; Radioactivity; Risk assessment		
著者	Mitchell T. Berg, Larry J. Shuman		
文献	Ecological Modelling 83 (1995) 359-372		

(1) 対象地域

特定の調査研究対象地域は無く、仮想の実験地と条件でシミュレーションをしている。

(2) 重要な図表

この論文では森林内の放射性核種の空間的（三次元）、時間的挙動を評価するためのランダムウォークモデルを適用した新しいアプローチが提示されている。ランダムウォークモデルはモンテカルロシミュレーションによって解かれた。この手法をテストするために放射性セシウムが針葉樹林に沈着したというシナリオを作成し、針葉樹林生態系に沈着後の、森林土壌中（Part II）と植生（Part III）の Cs-137 の挙動を調査するために、このアプローチを使用した。

2. ランダムウォークモデル

ランダムウォークは確率論的プロセスであり、粒子の現在の状態の情報だけで将来の状態を決定する。粒子の時間分布を完全に規定するためには、粒子の初期状態と、粒子の遷移の条件付き分布がわかればよい。マルコフ過程において、時間に伴う粒子の遷移条件付き確率は Chapman-Kolmogorov 微分方程式 (Eq. 1) で求める。

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial}{\partial t} P(Z, t | Y, t') \\
 &= - \sum_i \frac{\partial}{\partial Z_i} [A_i(Z, t) P(Z, t | Y, t')] \\
 &+ \sum_{i,j} \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial Z_i \partial Z_j} [B_{ij}(Z, t) P(Z, t | Y, t')] \\
 &+ \int [W(Z | X, t) P(X, t | Y, t') - W(X | X, t) P(Z, t | Y, t')] dX
 \end{aligned} \tag{1}$$

3. 粒子状態と遷移

モデルでは森林生態系を森林植生と森林土壌に区分している。

森林植生については、維管束植物（木、低木、草）と非維管束植物（苔 moss、地衣類 lichen、共生菌

symbiotic fungi、腐生性真菌 saprophytic fungi) に区分している。以下のような放射性核種のやり取りを仮定しており、維管束植物 (Fig.1)、着生植物-苔や地衣類 (Fig.2(a))、腐生性真菌 (Fig.2(b))、共生菌 (Fig.2(c)) についてそれぞれ示している。●が内部で粒子が取り得る状態、○が外部で粒子が取り得る状態、実線矢印が粒子の内部での遷移、破線矢印が外部との遷移を示している。それらの遷移とマルコフ過程の要約が Table 1 である。

森林土壌については、腐葉土層と無機土壌層に区分しており、以下のような放射性核種のやり取りを仮定している (Fig.3 腐葉土層、Fig. 4 無機土壌層)。それらの遷移とマルコフ過程の要約が Table 2 である。

4. 解法のアウトライン

森林内の粒子分布の時空間的移動を求めるためには、粒子の条件付き遷移確率についての Chapman-Kolmogorov 微分方程式 (Eq. 1) を解く必要がある。森林の空間的不均質性を捉えるために、維管束植物・非維管束植物・森林土壌を三次元セルへと分割する手法を取った。この離散的アプローチを示したのが Fig. 5 で一つのセルに幾つかの粒子が含まれている。このセル内のそれぞれの粒子の時間 t ・場所 X における物理成分 s の状態を $S_i^t(X, s)$ と示す。

ベースラインシナリオで使用した、森林植生の存在量 (Table 3)、木の特徴 (Table 4)、土壌の特徴 (Table 5) が一部の出典とともに示されている。

Table 6 は、林冠によって遮られる沈着物の割合と針葉の上で不溶性になる割合から、1mg の放射性セシウムに相当する粒子数を決定している (Table 6)。

放射性セシウムの挙動シミュレーションは、縦横 350cm、深さ 50cm (根域以内) に対して実施した。これは 800 本/ha に相当する。

森林に沈着する初期粒子が増加すると計算パフォーマンスに指数関数減少がある。Fig. 7 はこの初期粒子負荷に対する MFLOPS の関係を示している。

Table 6
Radiocesium particle parameters

Particle parameters		Source
Half life (yr)	30.1	UNSCEAR (1988)
Particle mass (No. particles/mg Cs)	2.1×10^7	subjective
Number of particles	$10^4 - 10^5$	subjective
Fraction initially intercepted by canopy	0.80	Sombre et al. (1990)
Fraction intercepted becoming insoluble	0.25	Tobler et al. (1988)

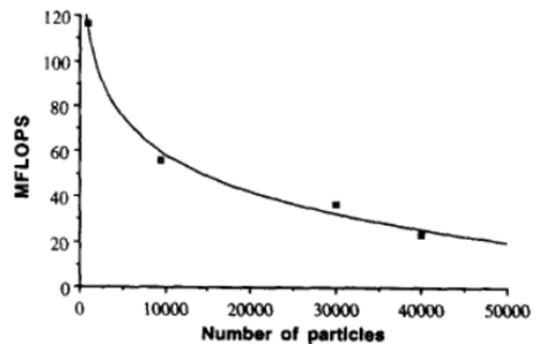


Fig. 7. Plot of the speed of execution in millions of floating point operations per second vs. the number of particles initially in simulation.

5. 考察

三次元ランダムウォークモデルに基づいて環境中に放出された汚染物質の挙動を予測するために開発されたモデルは、かなり限られている。この研究は、このモデルアプローチを森林のような大規模生態系に適用したパイオニア的なものである。ランダムウォークモデルの長所は、

- ① 計算内の確率論的事象（例えば洪水）を含むことが可能、
- ② コンピュータコードを作成する際の簡便性、
- ③ 環境中の放射性核種の固有可変性をとらえることができる、
- ④ 解法（例えばモンテカルロシミュレーション）は、大規模数値不確実性に制約されない（数値発散に苦慮する差分法とは対称的である）

ことである。

現在では二つの欠点が存在する。つまりモンテカルロシミュレーションを解くことによる計算の複雑性と、モデルの整合性と妥当性を評価するデータを必要とすることである。

2. 提言につながる情報

(1) モニタリングへの活用

(2) 流出挙動・経路

(3) 除染の際の留意点

(4) 担当者のコメント

公開されていないモデルなので実用性には問題があるが、モデルに用いられたパラメータの出典は有用であると考えられる。ただしパラメータの出典は別の Part II、III で記載されており、本論文はその概要が記載されている。