- 33

LATとPIVの結果に基づく連続時間ランダムウォークによる土壌中の汚 染物質拡散予測

POLLUTANT DIFFUSION PREDICTIONS IN THE SOIL WITH CONTINUOUS-TIME RANDOM WALK BASED ON A MEASUREMENT RESULT OF LAT AND PIV

瀬川 紘人

Hiroto SEGAWA

(指導教官 羽田野祐子)

Abstract – The CTRW(Continuous time random walk) model is now one of the major equations to show how contaminated chemical materials spread in the soil. But the CTRW model doesn't fit our experimental data. Especially, it is problem not to fit experimental data at the start and at middle range.So we improved former part of fitting dramatically with CTRW model based on a measurement result of LAT (Laser-Aided Tomography) and PIV(Particle Image Velocimetry). We could get a gap velocity of tracer particle from measurement result of LAT and PIV. So,we applied the data to contaminated chemical materials. Using the real behavior of tracer particles, we challenged to get better model.

1 はじめに

現代社会において、環境問題は人類が克服しなけ ればならない問題であり、また、土壌汚染もその1 つである。日本では、土壌汚染対策法(2002年)の 制定により、今まで放置されてきた土壌汚染の状況 が明らかになっており、土壌汚染の調査事例件数は 年々増加している。このような現状を見ると、今後 さらに多くの土壌汚染が確認されると考えられる。 また、汚染されている土壌を浄化するためには多額 の費用と時間がかかり、単純に解決できる問題では ない。

$$\frac{\partial^{\gamma} C}{\partial t^{\gamma}} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} \tag{1}$$

Cは物質濃度、Dは拡散係数、tは時間、xは 汚染源からの距離、vは地下水位の平均実流速、 γ は待ち時間を決める特性指数である。この式は従来 の移流分散拡散方程式 (advection-dispersion equation:ADE) に代わり、土壌中の異常拡散を表すモデ ルとして精度を高めたが、ミクロの部分において は精度を欠いている。そこで、レーザー光を用いた 断層 X 線写真法 (Laser-Aided Tomography:LAT) と粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry:PIV) によって、物質拡散の様子を捉えて、連続 時間の与え方に改良を行ったものを実験データと比 較し検討する。

2 理論

2.1 一般化コーシー分布

これから述べる一般化コーシー分布というものは、 2007年にKonnoらによって出された論文によるも ので従来のコーシー分布よりもより普遍的な分布関 数となっており、分散値が収束することが特徴であ る. 200511349 SEGAWA-2

今、次式のようにノイズの入った状態での関数を考 える。

$$\frac{d}{dt}x = -\alpha x + xF_p(t) + F_a(t) \tag{2}$$

ここで、 $\alpha > 0$ 、 $F_p(t) \ge F_a(t)$ は相互に関係しているノイズである。

$$\langle F_p(t)F_a(t')\rangle = 2D_{ap}\delta(t-t') \tag{3}$$

(23) 式を変形すると、

$$\frac{\partial}{\partial t}P(x) = \frac{\partial}{\partial x}[K(x)P(x,t)] + \frac{\partial^2}{\partial x^2}[D(x)P(x,t)] \quad (4)$$

$$K(x) = (\alpha - D_p)$$

$$D(x) = D_p x^2 + 2D_{ap} x + D_a$$

$$P_{s}(x) = P_{0}(D_{p}x^{2} + 2D_{ap}x + D_{a})^{-\frac{\alpha}{2D_{p}} - \frac{1}{2}} \\ *exp[\frac{(\alpha - D_{p})D_{ap}}{D_{p}\sqrt{D_{p}D_{a} - D_{ap}^{2}}}tan^{-1}\frac{D_{p}x + D_{ap}}{\sqrt{D_{p}D_{a} - D_{ap}^{2}}}]$$
(5)

ここで、

$$a = \sqrt{\frac{D_a}{D_p}}, b = \frac{1}{2} + \frac{\alpha}{2D_p}, c = \frac{D_{ap}}{D_p}$$

$$A = \sqrt{a^2 - c^2}, f = \frac{2(b-1)c}{A}$$

$$P_s(\xi) = \frac{(2A)^{2b-1} |\Gamma(b+if/2)|^2}{2\pi\Gamma(2b-1)} \frac{exp[f * tan^{-1}(\xi/A)]}{(\xi^2 + A^2)^b}$$

2.2 粒子画像可視化実験

2.2.1 レーザー光を用いた断層 X 線写真法 (Laser-Aided Tomography:LAT)

LAT は粒状体の内部を観察するために開発され た可視化実験手法の一つである.光学的に均質な光 学ガラスを粉砕・研磨することにより生成した粒子 を用いて模型を作成し、模型を同じ屈折率を有する 液体で飽和させて試験体を作成する.次いで、シー ト状にしたレーザー光を試験体に通過させる.粒子 の表面で光の散乱が起こり、レーザーシート面内に ある粒子の輪郭が浮かび上がる.

2.2.2 粒子画像流速測定法 (Particle Image Velocimetry:PIV)

PIV は流体力学の分野でよく用いられる可視化 手法であり、ディジタル技術の急そうな発展とあい まって、ここ十年で流体計測の標準的な手法と成り つつある.流体中に無数のトレーサ粒子(大きさ数 十ミクロン)を混入し、レーザー光をシート状にし て流れに照射することにより、レーザーシート面内 のトレーサ粒子が光り、パターンを作り出す.

2.2.3 実験結果

今回の実験に用いられた物質は、豊浦砂であり、 平均流径は、0.175mmで流径分布のばらつきが非常 に小さい.間隙流体には水を用い、間隙比は0.725 であった.実験結果は、3方向に、また正負方向に 値がとれているが、今回は簡単のため、実験結果の 1方向の正方向のみの分布を使用する.

謝辞

本研究を遂行するにあたり、終始懇切なご指導、 御鞭撻を賜りました筑波大学リスク工学系の羽田野 准教授、ならびに京藤敏達教授、武若聡准教授松島 准教授、白川直樹講師に心から感謝の意を表します。

参考文献

[1] 野寺隆志,「楽々 IATEX」, 共立出版, 1990.

(62) 磯崎秀樹、「IATEX 自由自在」、サイエンス社、
1992. ・今野先生論文・統計分布ハンドブック
粒子ー流体系に関する可視化実験と数値解析