

タンクモデルによる汚染物質の降雨流出解析

Contaminant transport analysis by the tank model

羽田野 祐子 [1]

Yuko Hatano[1]

[1] 筑波大・シス情

[1] Inst. Eng. Mech & Sys., Tsukuba Univ.

<http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~hatano>

近年、クロスメディア汚染が注目され始めている。クロスメディア汚染とは、異なる環境媒体間の汚染の広がりであり、たとえば自動車排ガスなどの汚染物質を多く含んだ大気が都市圏から運ばれ、別の地域において汚れた降雨となり、河川などの水質に影響を与えるなどの汚染形態である(青井, 2001)。

一般に、大気中の汚染物質は降雨となる際、雨滴に取り込まれ、降雨となって地表に湿性沈着する。この降水は、地表流や地下水流出を経て、最終的に河川に合流する。本研究はこの降雨の水質が河川の水質にどのような影響を及ぼすかを解析したものである。

本研究の特徴は、物質移動に関してフラクタルな性質を導入したことである。降雨となって地表にやってきた水は、様々な経路を辿って河川に流入するが、この性質には次のような興味深い性質がある。Kirchnerら(2000, 2001)は、英国の小流域で10年にわたり実測されたデータを解析した。まず彼らは、流域中のある場所で観測された降雨の水質データに着目し、トレーサー物質である海塩の濃度のスペクトル解析を行った。このデータは、縦軸を海塩濃度とし、横軸を測定日とした時系列データであるため、フーリエ変換を行う(スペクトル解析する)ことにより、どのような時間的周期を持つかが明らかになる。その結果、降雨中の汚染物質濃度は、ホワイトノイズとよばれるスペクトルを示し、年周期以外の顕著な周期を持たずにほぼランダムに降水に含まれていることがわかった。一方、同様の解析をこの流域の河川に対して行くと、 $1/f$ スペクトルと呼ばれる形状を示し、全く異なる結果が得られた。さらに彼らは、水量(汚染物質とは無関係な、水量のみ)を解析し、降水量のスペクトルと河川流量のスペクトルもまた、ホワイトノイズになることを明らかにした。もし海塩が、水と同様な過程を経て河川に流出してくるのであれば、同じ応答を示すはずである。それにもかかわらず、これらは異なる応答を持っていることが明らかになった。一般に、ある時系列データが $1/f$ スペクトルを持つことはそのプロセスになんらかのフラクタルな性質が関わっていることを意味する。この場合、ある特定の海塩粒子が、降雨として地表に到達してから河川に流出するまでの時間を t とすると、次のような関数 $F(t)$ に従うとした場合、スペクトルは $1/f$ ノイズになることが知られている。

$$F(t) \propto t^{-a}$$

a はその体系に依存する定数である。この $F(t)$ を t に関してプロットした場合、 t を「年」とした場合も「日」とした場合も、グラフの形が全く変化しないことから、フラクタルな性質を持つと言われる。この関数の特徴は、滞留時間が非常に大きい場合もわずかながら存在するという点であり、言い換えれば、海塩粒子によっては非常に長時間経過してやっと河川に流入してくるものがある、ということである。押し出しモデルにおける滞留時間とはこの点が異なっている。この違いはわずかなようであるが、スペクトルの性質を大きく変化させている。

筆者らはこの性質に着目し、河川中の汚染物質濃度の $1/f$ スペクトルが再現できるようなモデルを作成した。具体的には、洪水予測として流量解析に広く用いられている「タンクモデル」と呼ばれる計算プログラムに、上記の $F(t)$ のような形の滞留時間を組み入れた。この計算結果によると、汚染物質の河川中濃度は Kirchner らの実測結果と同様な $1/f$ スペクトルを示すようになった。さらに筆者らは仮想的な降雨の長期データを与え、降雨中の汚染物質濃度が河川の水質に反映するまでに数年の年月を要することを示した。