

分布型降雨流出モデルのための森林流域における降雨流出過程のモデル化

日本上下水道設計株式会社 経営企画本部 山下三男

1. はじめに

水循環をめぐる議論をより建設的に進め、利害調整や合意形成を図るためには、まず流域における水循環の実態をより詳細に把握することが必要である。

そのような情報を提供するためのツールとして、従来「集中型」の水文モデルが利用されてきたが、近年「任意地点・任意時刻における水位流速」といった詳細な情報が求められるようになり、もはや対応できない状況となった。それに変わるものとして「地形や流出特性に応じて流域を分割し、そこからの流出を河川への入力とし、河川の中の水の流れは水理計算モデルで追跡する」という「分布型モデル」が提案されている(図-1)。

一方で、内水氾濫や閉鎖性水域の富栄養化を議論するために、「源流の森から海まで」を総合的に解析する必要性が指摘されている。そのためには、まず森林域からの流出を正確に推定することが必要であり、森林域を分布型モデルでモデル化する実用的な方法論が必要とされている。特に下流の都市流域において既に行われている精密なシミュレーションの境界条件として利用できるような、短い時間間隔の精度の高いハイドログラフを推定することが求められている。また、水質シミュレーションを可能とするためには、無降雨時や低流量時を含めた連続シミュレーションが可能でなければならない。

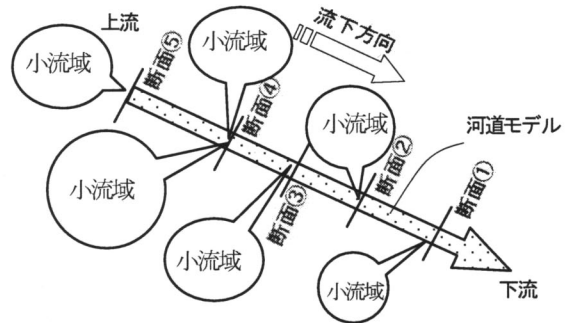


図-1 分布型モデル

特に下流の都市流域において既に行われている精密なシミュレーションの境界条件として利用できるような、短い時間間隔の精度の高いハイドログラフを推定することが求められている。また、水質シミュレーションを可能とするためには、無降雨時や低流量時を含めた連続シミュレーションが可能でなければならない。

2. 森林流域の降雨流出モデルの要件

分布型モデルでは、分割した小流域からの流出を集中型モデルで精度良く推定する必要がある。精密なモデルで長期的な再現性を持つモデルも提案されているが、初期条件や境界条件の項目が多く、それらを与えるための詳細な観測や調査を「流域」という規模の森林域を対象として定期的に行うのは不可能である。

そのため、実用という観点から森林域における分布型モデルの分割小流域を対象とする降雨流出モデルに求められる条件は以下の3つであると考えられる。

- ①主要なモデル係数を測定が簡易な流域の状態量から推定できる。
- ②正確な流出量を長期間連続的に再現できる。
- ③構造がシンプルでパラメータの数が少ない。

3. 降雨流出モデル(山下モデル)の開発

本研究においてはこれらの条件を満たす降雨流出モデルとして、「山下モデル」を開発した(図-2)。このモデルは、土壌中の大孔隙貯留容量と中小孔隙貯留容量を主要なパラメータとして採用した2段階の貯留構造と表面流、中間流及び基底流出の3つの排水過程から構成されている。土壌孔隙の大孔隙と中小孔隙への分離については、森林土壌学の権威である竹下の土壌孔隙分類に基づいた。

山下モデルでは、地上に到達した雨(P_1)はまず大孔隙に浸透し(f_1)、浸透しきれない雨($P-f_1$)が表面流出(q_1)すると仮定した。①その際、大孔隙に貯留されている水量(h_1)が大きくなるにつれて、表面流出が増加すると仮定した。②また、大孔隙に滞留した水の一部(f_2)が中小孔隙に浸透するとしたが、中小孔隙が水で満たされるにつれて、水が中小孔隙に浸透しにくくなると仮定した。③さらに、中小孔隙に貯留された水は、徐々に基底流出となるものと仮定した。図-2はこれらの関係を模式的に表したものであるが、実際の土壌中では大孔隙と中小孔隙が混在している。

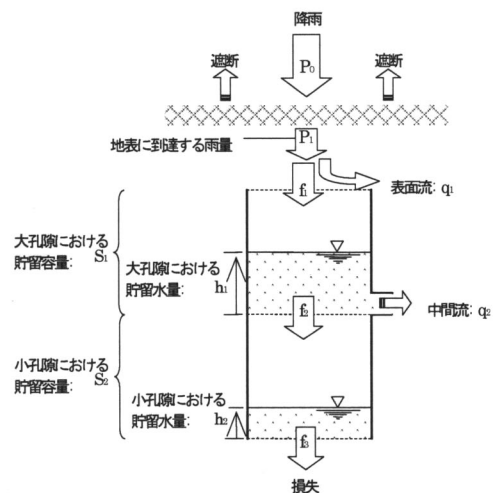


図-2 山下モデルの基本構造

4. 実流域における検証

まず、山下モデルを北海道大学雨龍研究林の森林小流域に適用して検証した。降雨流出モデルの主要なパラメータである大孔隙の容量(S_1)及び中小孔隙の貯留容量(S_2)については、土壌孔隙の実測調査を行い、その実測値を採用した。シミュレーション結果のハイドログラフは概ね良好な再現性を示した。

次に大分県の下釜ダム上流域を分布型モデルでモデル化し、その分割流域に山下モデルを適用して検証した。主要なパラメータとして林業試験場の技術者である諫本らによって測定されていた大孔隙及び中小孔隙の保水容量の値を用いて、シミュレーションを行った。その結果を図3に示すが、観測結果との一致度が高く、本研究で提案したモデル及び仮定が正しいものであることを確認した。

5. 結論と今後の課題

山下モデルの特徴は、大孔隙及び中小孔隙における貯留水量に応じて、それぞれの孔隙に対する「水の入りやすさ」が変化する構造としたことにより、流域の湿潤状態に応じた直接流出量の変化を表現できる点にある。このことが長期的にハイドログラフを精度良く再現することを可能とした。主要なパラメータである大孔隙貯留容量(S_1)と中小孔隙貯留容量(S_2)の値は、比較的簡便な土壌調査によって推定することができるため、実用性は高いといえる。

山下モデルは表面流出及び中間流出に直接影響を与える森林土壌の上層部における水の挙動を記述したものであるが、特定の森林流域の流出特性に応じて、融雪の影響、落葉層における水の挙動や深層における地下水の挙動を記述したモデルと組み合わせることにより、推定精度をさらに向上させることが可能であり、森林流域のモデルの「イージーオーダー」化を実現するものである。

分布型モデルの分割小流域に山下モデルを適用することにより、流域内の任意地点における任意時刻の水位・流速の正確な情報を予測することができ、ダムのような河川管理施設のRTCを行うためや豪雨災害時における自治体や住民の意思決定のために有用な情報を提供できると考えられる。

本研究で採用した400cc採土円筒による土壌孔隙調査は、比較的簡便に実施でき、森林流域における雨水貯留能力推定のための有用な情報が得られる。しかしながら、かつて全国において行われた貴重な調査結果が利用されやすい形で管理されておらず、またその調査技術の実際的なノウハウが失われつつある。モデリングと現地調査・観測は、二重螺旋構造のような相互関係にあり、モデリング技術の発展のためにも、このような実用的な調査手法を再評価する必要がある。

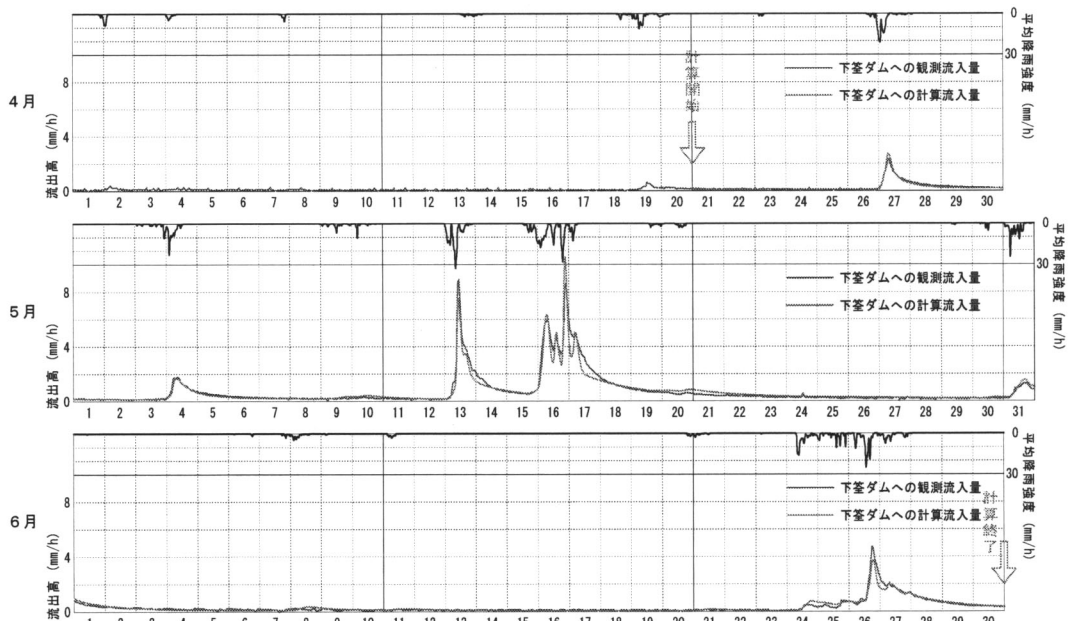


図-3 下釜ダムへの流入ハイドログラフのシミュレーション結果
(2004年4月21日零時から同年7月1日零時まで)