

回答骨子 1 : 学術上の整理(案)

第 1 節 流出解析法のレビューと貯留関数法の位置づけ

1.1 流出解析法の目的と分類

- 流出解析の目的には、河川計画や水工構造物の設計のための河川流量の予測、実時間での予測、長期の河川流量の変化予測、水文観測のない流域の水循環予測、流出現象の理解などがある。
- 流出解析法(モデル)は以下のように分類される：
 - (1) 予測期間の観点：短期流出モデル（洪水流出モデル）、長期流出モデル（流況予測モデル）
 - (2) 降雨－流出応答の考え方の観点：応答モデル、概念モデル、物理モデル
 - (3) モデルの空間的な構成法の観点：集中型モデル、分布型モデル
 - (4) 時間的連続性の観点：イベントモデル、連続時間モデル

1.2 貯留関数法の基本構造とその留意点

- 貯留関数法は、短期流出モデル、集中型モデル、かつイベントモデルであり、個々のイベントの降雨系列と流量系列の観測値に適合するように、有効降雨を推定し、パラメータを推定する手法が複数開発されている。
- しかし、観測されていないイベントに対して、どのように飽和雨量を設定するか、個々のイベントに適合するパラメータが降水規模や降雨分布とどのような関係にあるか、流域特性の長期変化によってパラメータがどのように変化するかについては、当該流域の水文資料をよく吟味、検討して、適用することが必要である。

1.3 流出解析法の発展と貯留関数法の位置づけ

- 流出解析法は、流域内の水文要素の物理過程を考慮し、人工的な流水制御系も組み込んだ要素モデルによる分布型・連続時間のモデルへと発展して行っており、今後は分布型・連続時間の流出モデルによる計画手法の確立が望まれる。
- とはいえ、過去の事例では必要なデータが必ずしも得られない場合もあり、こうした分布型・連続時間のモデルの適用実績は必ずしも十分ではない。そこで、適用実績のある貯留関数法を、その特性について十分注意しながら利用していくのも現実的である。

第2節 貯留関数法とその適用法

2.1 概説

- 貯留関数法には、有効降雨、遅れ時間(二価関数)、流出域区分の取り扱いや、パラメータの決定方法などにおいて、様々な手法が開発されており、適用に当たっては各手法の違いとその意味を明確にする必要がある。
- 入力値である流域平均降水量は、パラメータ推定や再現計算に大きく影響するので、その算定には十分留意する必要がある。

2.2 流域平均降水量

- 流域平均降水量算定手法には、等雨量線法、ティーセン法、算術平均法、支配圏法、高度法などがある。

2.3 有効降雨

- 有効降雨の算定に必要な直接流出量の分離には、バーンズ法、水平分離法、ハイドログラフ逡減部の折曲点による方法などがある。
- 有効降雨のモデル化には、飽和雨量・一次流出率・飽和流出率による方法、雨水保留量曲線法、浸入能方程式による方法、 ϕ index 法、カーブナンバー法などがある。
- 有効降雨の算定に当たって流域の乾湿条件を考慮する方法として、前期無降雨日数、API、初期流量などを用いる方法がある。

2.4 貯留関数法

- 貯留関数法には、木村、角屋・永井、Prasad、星などより、パラメータや運動方程式の扱いが異なる手法が開発されている。
- 木村の貯留関数法は、遅れ時間の概念を導入している点、さらに1つのサブ流域を流出域と浸透域に分割し、各領域の計算流量を合算して、流域ブロック下流端の計算流量としている点に特徴があり、その流出域・浸透域分割の扱いと有効降雨の扱いは一体となっている。ただし、貯留量ー直接流出量関係に基づくパラメータ決定の段階では、前述の領域分割は考慮されていない。
- 角屋・永井の方法では、1つのサブ流域を流出域と浸透域に分割しない点、有効降雨を先に計算しておき、それを貯留関数モデルに入力する点、計算ハイドログラフが観測ハイドログラフに合致するようにパラメータを最適化する方法が常用されている点などが特徴的である。
- 星らの方法では、角屋・永井の方法の特徴に加え、運動方程式を工夫することで遅れ時間の概念を用いていない点において、木村の貯留関数法とは異なっている。

2.5 パラメータの総合化

- 木村の貯留関数法で採用されてきたパラメータの総合化式として、総合貯留関数法や利根川方式などがある。
- 雨水流法と貯留関数法の相互関係から導出された総合化式として、永井らの総合化式、杉山らの総合化式、星らの総合化式などがある。

参考資料1 山岳部を含むダム流域における流域平均雨量の扱いについて

大迫ダム流域の事例（角屋・田中丸）、永源寺ダム流域の事例（角屋ら）

参考資料2 総雨量と総直接流出量の観測事例について

- 1) 国土交通省から提供された8河川流域（浅川、鈴鹿川、砂川、芦田川、印賀川、土器川、重信川、遠賀川）の総雨量－総直接流出量関係を作図し、これらに飽和雨量・一次流出率・飽和流出率による方法を適用する。
- 2) 過去の文献から、試験小流域で観測された総雨量－総直接流出量関係の事例を紹介する。例えば、桐生・川向・若女・ハチース・ヤヨイ各流域の総雨量－総直接流出量関係（福鳶）、多摩流出試験地における総雨量－総直接流出量関係（都市水文学研究会）など。
- 3) 過去の文献から、試験小流域で観測された雨水保留量曲線（累加雨量－累加保留量曲線）の事例を紹介する。例えば、山林・牧場・ゴルフ場等の土地利用別の雨水保留量曲線（角屋ら）、五条吉野（小林ら）、輪島柳田（田中丸・角屋）における山林流域と農地造成流域の雨水保留量曲線、藤枝の総説（森林流域の保水容量と流域貯留量、森林総合研究所研究報告、2007）など。

第3節 貯留関数法の利根川への適用について

3.1 貯留関数法の利根川への適用における留意事項

- 貯留関数法の適用に当たっては、その頑健性を確保すること目的として、簡潔なモデル構造と適切な数のパラメータの組み合わせを用いることを推奨する。
- 源流域の有効降雨は地質によって分類されることが示されている（第5回分科会資料8）。各サブ流域での有効降雨推定には、精度の高い流域平均降水量と河川流出量のデータをを用い、地質区分を考慮した有効降雨モデルを設定することを推奨する。
- 高い精度の観測データを用いて、貯留関数法を源流域へ適用した研究事例では、異なる台風事例でも同一のパラメータの組み合わせで、高い洪水流量の再現性が示されている（宝川森林理水試験流域でのカスリーン台風、アイオン台風事例解析）。そこで源流域流量観測地点における大出水時のピーク付近の流出量を、同じK, P, T1等のパラメータで再現し、その推定精度を確認した上で、下流の八斗島地点河川流量を再現することを推奨する。
- 各出水の洪水ピーク流量を最適に推定するには、パラメータ値がある程度異なる場合もあると考えられる。その場合はパラメータのバラツキによるピーク流量値の変化に関する感度分析を行い、カスリーン台風の洪水ピーク流量の推定幅を算定して、提示することが必要である。
- 森林の変化による河川流出への影響については、小試験流域における観測研究から、下記の知見が得られている。利根川への貯留関数法の適用に当たっては、これらの知見を参照して、長期にわたって同じモデルの適用が可能であることを注意深く検討することが必要である。
 - (1) 伐採後などは蒸発散量が少なくなり、流出量が大きくなるが、洪水流出への影響は小さい。（宝川試験地の解析、第5回資料8）
 - (2) 花崗岩のはげ山のように植生と土壌が存在しない場合は、土壌のある場合に比べ洪水流出量が非常に大きくなる。（滋賀県田上山の試験結果より）
 - (3) 長期の強度伐採は森林土壌を失わせるが、花崗岩以外の地質では、貧弱な森林と下層土壌は残される。この場合、洪水流出量は基の原生林に比べて大きくなる。また、伐採せずに放置すると森林が成長するとともに、土壌の厚さや貯留機能が長い年月をかけて原生林の時の状態に移行してゆくと推定されるが、洪水流出量が小さくなったことを確認できる結果は、これまで得られていない。