

ブートストラップ法による流出モデルパラメータの不確定性の検討

防衛大学校建設環境工学科 学生会員 ○中島 貴
 防衛大学校建設環境工学科 学生会員 久木田 誠
 防衛大学校建設環境工学科 正会員 多田 毅

1. はじめに

降雨から流量を予測するための降雨流出モデルとして、多種多様なものが提案され、実用に供されている。いずれのモデルも、パラメータの値を変化させることによって対象流域の地理的特性、気候特性などにモデルを適合させる機能を実現しており、パラメータの決定は重要な問題である。従来、パラメータは経験的に決められていた。しかし、近年コンピュータの発達によって膨大な量の計算が可能となり、観測データからキャリブレーションによって比較的容易にパラメータを求めることが可能となった。しかし、観測データを用いてパラメータを同定する場合、観測期間ごとに異なるパラメータが得られ、流域ごとに一意に決めることが困難であることが知られている。本研究では、ブートストラップ法を用い、パラメータの不確定性と、そこから生じる予測流量の不確定性を定量的に見積もることを試みた。

2. ノンパラメトリックブートストラップ法

一般に、流域に対して最適パラメータを一意に決めることが難しく、そのために予測流量に不確定性が生じることが知られている。その不確定性を定量的に見積もる手段として、ノンパラメトリックブートストラップ法を採用した。元のデータから復元抽出を行い、元のデータと同一の統計的性質を持つデータを新たに複数組作成する(ブートストラップ標本)。そして、それらの標本から推定された統計量の分布を用いて、モデルの予測精度や安定性を検証する方法である。本研究では、この手法により降雨・流出データからパラメータの分布を求め、さらに予測流量の不確定性を見積もる。

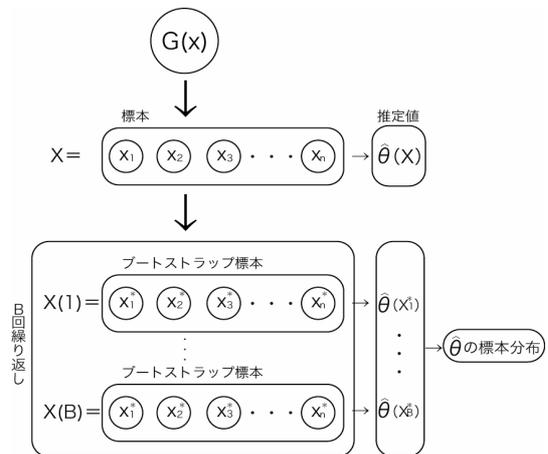


図-1 ブートストラップ法の概念

3. 解析方法

まず、ブートストラップ法の対象期間を定める。次に、対象期間中の降雨・流出データ X から、一定の連続した日数を持つブロック毎にランダムな復元抽出を行い、対象期間と等しい日数分のデータ X^* を作成する。このようにして作成されたデータをブートストラップ標本と呼び、複数の標本を作成することで、元データと同一な統計的性質を持つデータを多数得ることができる。さらに、各ブートストラップ標本について、それぞれ最適パラメータ $\hat{\theta}(X^*)$ を求める。このようにして得られたパラメータ群より、母集団 $G(X)$ または観測データ X の性質を反映したパラメータの分布、すなわちパラメータの不確定性を見積もることができる。図-1では、 B 個のブートストラップ標本 X^* を作成し、そこから B 個のパラメータ $\hat{\theta}(X^*)$ を得る様子を示している。

次に予測流出高の不確定性について検討するために、各ブートストラップ標本から得られたパラメータ群を用い、各標本それぞれの予測流出高のハイドログラフを計算する。それによって、標本数と同じ数だけハイドログラフができる。各時間ステップにおいて、全標本の予測流出高の平均、上限、下限を求めることで、パラメータの不確定性を反映した予測流出高、およびその不確定性の範囲を求めることができる。

キーワード 流出モデル, ブートストラップ法, 不確定性

連絡先 〒239-8686 神奈川県 横須賀市 走水 1-10-20 防衛大学校 建設環境工学科 水工学研究室 TEL 046-841-3810

E-mail : s51416@ed.nda.ac.jp

本研究では、流量年表の大仰観測点から、1992年から2002年までの11年間の日単位降雨・流出データを用いた。流出モデルには貯留関数法を用いた。ブートストラップ対象期間は1992年の1年間、1992~1995年の3年間、1992~2002年の11年間とした。また、復元抽出時のブロックサイズは60日、ブートストラップ標本の数は10個とした。

3. 結果

まず、1992年を対象としたブートストラップ法により得られた、貯留関数法の5つのパラメータ (f, k, p, q₀, t_l)のうち最も結果に対する影響の大きかったkとpに関する散布図を図-2に示す。また、1992~2002年の11年間のキャリブレーションによって得られた最適パラメータを併せて示す。ブートストラップ法により求めたパラメータにはばらつきがみられる。しかし、最適パラメータはブートストラップサンプルの分布の中に入っているといえる。したがって、ブートストラップで得られたパラメータ群は従来の最適パラメータと矛盾せず、流量の予測とその不確定性の評価が可能であるといえる。紙面の都合で掲載しなかったが、ブートストラップ期間が長くなるほど、パラメータのばらつきが小さくなる傾向が見られた。

次に、1992年を対象にしたブートストラップ法で得られた予測流出高の平均、上限、下限の一例(2002年)を図-3に示す。また、対象期間1992~1995年の場合を図-4に、1992~2002年の場合を図-5に示す。一般のキャリブレーションの場合と同様に、対象期間が長いほど予測精度が向上し、対象期間1年と11年では、予測誤差が半分になっていることが分かる。また、対象期間が1年間の場合は明らかに予測精度が不十分である。対象期間3年の場合、精度は向上するが不確定性は大きくなっている。11年の場合予測精度はさらに向上し、不確定性も小さくなる。ただし、11年のデータを用いて予測をおこなっても、一定の不確定性は避けられないことが分かる。

4. おわりに

本研究ではブートストラップ法を用いて流出モデルのパラメータを分布で表現したことにより、パラメータの不確定性に起因する予測流出高の最大・最小の範囲を示すことができた。これにより、予測流量の不確定性を定量的に見積もることができた。今回は限定的な条件での確認にとどまったが、今後、多数のモデル、流域で解析を行う予定である。

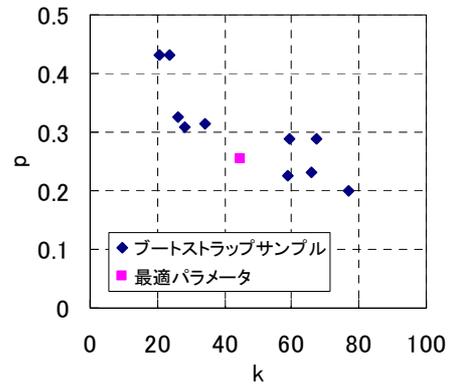


図-2 kとpの分布

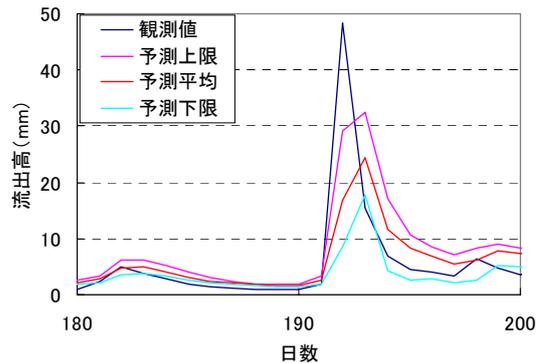


図-3 ブートストラップ法対象期間 1992

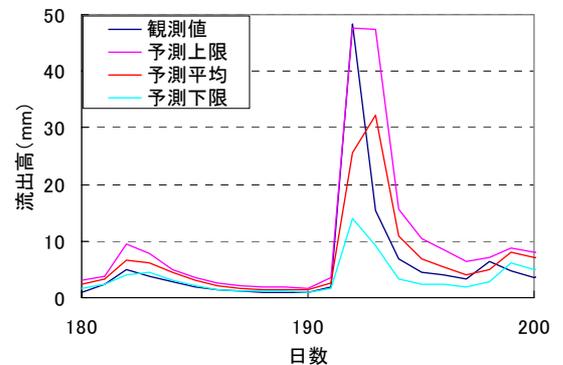


図-4 ブートストラップ法対象期 1992-1995

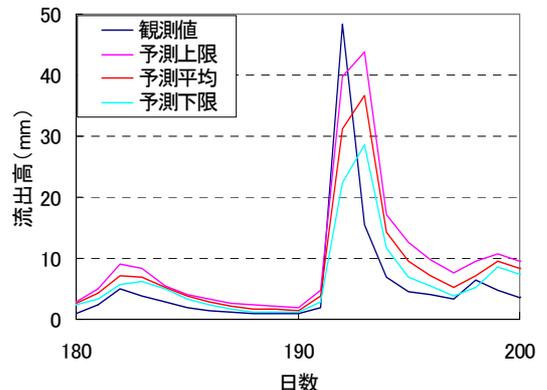


図-5 ブートストラップ法対象期間 1992-2002