TCBM／事例ベースモデリング手法による河川流量予測

(株)山武　　正会員　○岡　　利明
京都大学　　正会員　　小尻　　利治
社会工学研究所　正会員　　須田　日出男

1. はじめに

都市を中心とした集中豪雨により河川流量が急激に増大し，危険水位を超えることがしばしばある．河川で溢水した場合，地下街が広がっている大都市などでは人命にかかわる大事故につながる恐れがある．河川氾濫を予測できれば，事前に対策を立てて災害を最小限にとどめることができる．一方，このような河川氾濫を予測する手法は多くの研究機関で開発されている．それらの多くは流出解析モデル[文1)]と呼ばれる手法を基本とし，自然界に広がる様々なパラメータ（標高，流域面積，土地利用，浸透率など）の設定が必要である．しかし，それらのパラメータを正確に設定することは難しい．特に，都市を流れるいわゆる中小河川では，川幅が狭いために水位の変動が激しく，流出解析モデルを用いての流量予測は精度が低くなりやすい．そこで，過去に起きた流量変動の事例をデータベースに蓄え，未来（数時間先）の気象情報予報値と過去（数十時間前）の気象情報観測値から数時間先の河川流量を推定し，その結果を基に河川氾濫の予測を行う手法を開発した．本報ではその手法の概要及び実例を示す．

2. TCBM 技術

本解析では，TCBM 事例ベースモデル（Topological Case-Based Modeling）[文2)]を利用している．TCBM とは，過去の蓄積されたデータを活用し，現在と過去の現象の類似性を検証することでパターンを発見し，未来の予測を行うモデリング方式である．TCBM の基本構成を以下に示す（図-１参照）．

(1) 出力の解像度（出力許容誤差：要求するモデルの精度）を設定する．その精度を満たすための入力変数の種類や数をステップワイズ法[文3)]を基本として決定する．

(2) モデリング：位相論の連続写像の概念に基づき，出力許容誤差に応じた入力空間の量子（メッシュ）化を行い，メッシュ空間における事例作成と，類似度の定義を行う．量子化に使用した評価基準によりモデルの完成度を評価する．

(3) 出力推定：推定を行う入力状態と類似している入力事例を事例ベースから検索し，類似入力事例とペアで記録されている出力事例を用いて，局所的に出力値を計算する．検索に用いる近傍系により類似度が求まり出力の信頼性を表示する（近傍の拡大の度合いが大きいほど類似していない事例を推定に使用していることを示し，出力推定値の信頼性が低いことを示す）．

(4) 学習：事例ベースの部分改定を行うことで新規事例（入出力のペア）の学習を行う．

本技術は空調の自動制御や，下水処理場における流入量予測[文4)]など幅広い分野で利用されている．

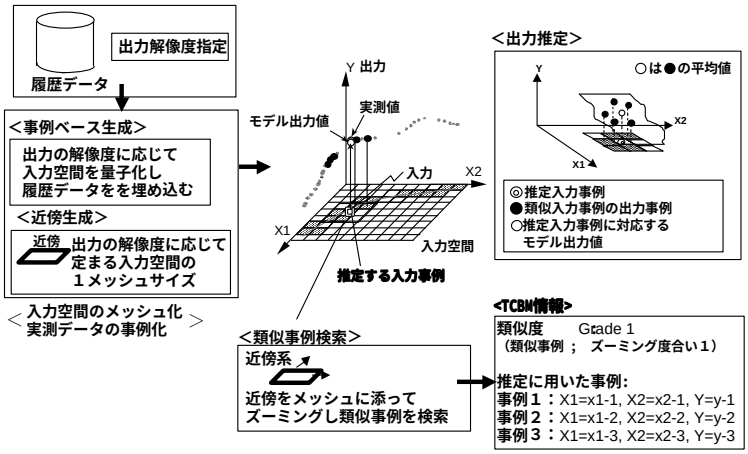

図-1　TCBM の概略図

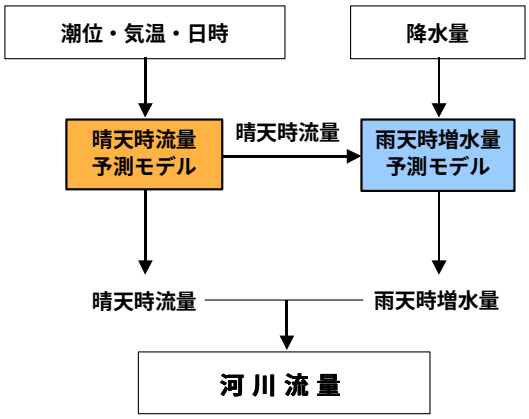

図-2　河川流量推定モデルの概念図

キーワード：河川流量予測，河川氾濫予測，TCBM，事例ベースモデル

連絡先　　〒251-8522　神奈川県藤沢市川名 1-12-2　　ＴＥＬ0466-20-2297

3. 河川流量予測モデル

前章の TCBM を河川流量予測に適用した．図-2 に本モデルの概念図を示す．河川流量の増減に影響を与えている主な要因は雨である．その他に，地球と太陽の関係から生じる潮位の変動，土壌の湿り具合から生じる季節的な変動，人間の生活パターンによって生じる時間的な変動などが考えられる．これらの要因をそれぞれ降水量，潮位，気温，日時で表すこととし，事例ベースに蓄える．モデルの入力に予報値などの数値を入れ，類似事例を検索し，河川流量を予測する．ここでは，河川流量を 2 つに分けて考える．1 つを晴天時流量，もう 1 つを雨天時増水量とする．これは，河川流量の増減が降水量と相関が強いため，他の変数とは別に扱った方が解析を行いやすいためである．前者を予測する晴天時流量予測モデルでは，過去 3 年分[注)] の河川流量，潮位，気温を事例ベースに蓄え，天文潮位の計算値や気温の予報値を用いて対象時刻の河川流量を予測する．また，後者を予測する雨天時増水量予測モデルでは，過去 3 年分[注)] の河川流量およびそれと同じ期間の晴天時流量の推定量の差から雨天時増水量を求め，そのデータと降水量を事例ベースに蓄えて，未来の降水量予報値を利用して対象時刻の雨天時増水量を予測する．この場合，対象とする河川に対して，その周辺のどこに降った雨がいつ影響を与えているのかを検討し，レーダー雨量などの多くの降雨情報から最適な降雨の変数をステップワイズ法を基本に選定している．例えば後述の河川においては，河川上流（地点 A）における 48 時間降水量が河川の水位変動に強い影響を与えるという結果が出たため，変数の一つとして 48 時間降水量を利用している．この数値は，一般的に都市域で短く，郊外で長くなると考えられる．その他の変数には，河川中流（地点 B）の 6 時間降水量や，地点 A の 24 時間降水量などの 6 変数が選ばれた．

4. 河川流量予測の実例

実例として，多摩川の河川流量予測を行った．環境観測点の 1 つである石原（東京都調布市）の水量観測データを利用した．その他計算条件は表-1 に示す．図-3 に流量を予測した期間のうち H15 年 7 月～9 月の予測結果を示す．予測の誤差は二乗平均平方和誤差（(1)式）が 2.2[%]となり、予測値は観測値と概ね一致した．ただし、最大誤差は 274[m^3/s]になっており、この誤差を小さくすることが今後の研究課題である。

$$\text{二乗平均平方和誤差}(RMSE)=\frac{1}{Range}\sqrt{\frac{\sum(\text{予報値}-\text{観測値})^2}{\text{データ数}}}\times 100 \qquad \cdots(1)$$

（ここで、*Range*＝対象期間の流量観測の最大値（＝965[m^3/s]）とした．）

5. まとめ

事例ベースモデル TCBM を用いて，過去に記録された河川流量変動の事例から未来の河川流量を推定する手法を開発した．本報では多摩川を対象とした流量予測を示し，観測値と比較して実用的な精度で一致した．この予測結果は，河川氾濫予測や利水計画などに利用できると考える．

表-1　計算条件

流量観測点	多摩川　石原 （東京都調布市）
データ利用期間	H.13.1.1～H.15.12.31
データ間隔	1 時間
降雨量データ	レーダーアメダス解析雨量
降雨量データの利用点数	多摩川流域の 3 地点

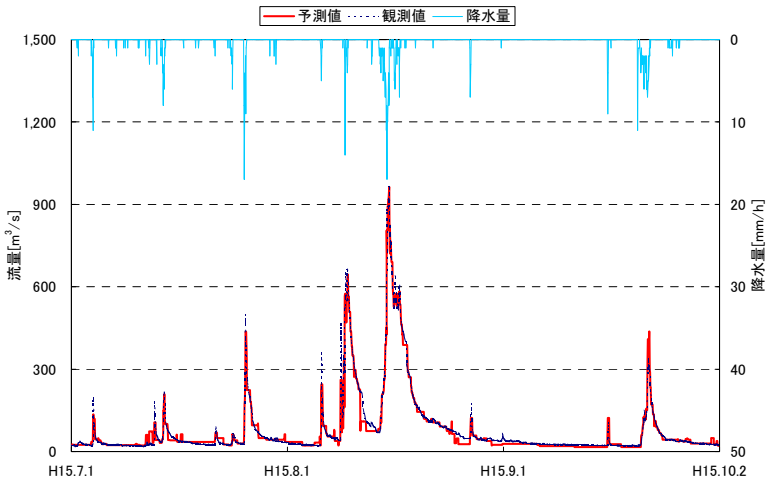

図-3　河川流量予測結果

注） 本報ではデータ期間の目安として 3 年分としているが，様々な降水量の変動を事例ベースに蓄えることで，本解析手法の精度は向上する．

参考文献

1） 例えば，天野，安田，貯水池建設に伴う下流河川水量・水質変化解析システムの開発，環境システム研究論文集，Vol.30，pp.53-64，2002.10
2） T. Oka, H. Tsutsui and J. Nishiguchi, Data-driven Approach to Sewage Inflow Prediction, 2nd IWA Leading-Edge Conference on Water and Wastewater Treatment Technologies, pp.371-380, 2004
3） 田中，脇本，多変量統計解析法，現代数学社，1983
4） 岡，筒井，近田，山縣，事例を用いた下水流入量予測とその運用効果，第 10 回地球環境シンポジウム，2002.7