流出系の構造的モデリングシステムOHyMoSJの開発とその応用

京都大学大学院　学生員　○　佐藤芳洋
京都大学大学院　正員　椎葉充晴
京都大学大学院　正員　堀　智晴

1　はじめに　水文モデルは、いくつかの水文素過程モデルを組み合わせて構成することができる。本研究では、要素となるモデルをユーザ自身がプログラミングでき、かつそうした要素モデルを組み合わせて全体のシミュレーションモデルを容易に構成することを支援する構造的モデリングシステムOHyMoSJ(=OHyMoS[1] coded in Java)を開発した。OHyMoSJの開発にあたり、分散オブジェクト環境を容易に実現する機能を搭載したプログラミング言語Javaを採用した。

2　OHyMoSJの詳細

2.1　OHyMoSJの概要　OHyMoSJは、水文モデルを構造的モデル化法によって作成するためのシステムである。構造的モデル化法とは、各水文モデルに共通な構造を抽出してあらかじめモデル化しておき、個々の水文要素モデルは、この共通構造を引き継いで作成していく方法である。ユーザは、OHyMoSJで定められた規格に従った要素モデルのコーディングと接続関係だけを考えればよい。

以下、適宜図1を参照されたい。OHyMoSJでは、流域を水文要素に分割し、それらに対応する要素群を計算機上で生成し、再構成して全体モデルを構築する。この全体モデルのことをOHyMoSJでは全体系という。数値計算を行うのは要素群であり、全体系が行うは作業はファイルとのデータ授受などである。要素間のデータ授受に関しては、OHyMoSJで定義した端子を用いて行うこととした。例えば、要素は受信端子を用いてデータを取得し、送信端子を用いてデータを送信する。

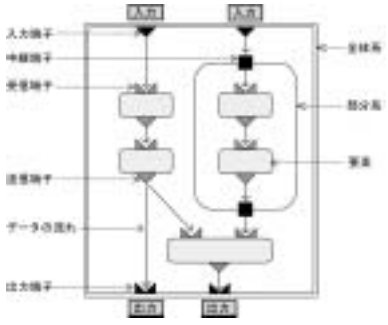

図1 OHyMoSJの構造例

2.2　構造定義ファイル　ユーザはプログラミングユーザとエンドユーザに分類することができる(図2)。プログラミングユーザとは、OHyMoSJを利用して独自の要素モデルを作成する者のことであり、エンドユーザとは、あらかじめ用意された要素モデル群を組み合わせて水文モデルを作成し、シミュレーションを行う者のことである。Javaプログラミングにより要素モデル群の配置・接続を定義することも可能ではあるが、Javaプログラミングができないエンドユーザでも水文モデルを作成し、シミュレーションを行うことができるよう、OHyMoSJでは構造定義ファイルという概念を導入している。ユーザは、定められた規格に従って構造定義ファイルを作成し、シミュレーション実行時にこのファイル名を与えると、構造定義ファイルの定義に従って自動的に要素が作成・配置され、シミュレーション計算が実行される。また、構造定義ファイルの導入により、要素モデルの追加・交換作業を容易に行うことができるというメリットもある。

図2 OHyMoSJに携わる者の関係図

3　OHyMoSJの応用

本節では、OHyMoSJの応用として、河道網系kinematic waveモデルの位数による集中化法を開発し、その有効性を検証する。

3.1　kinematic waveモデルとその解法　kinematic waveモデルの連続式および運動式を以下に示す。

$$\begin{cases} \dfrac{\partial A}{\partial t} + \dfrac{\partial Q}{\partial x} = r \\ Q = \alpha A^{m} \end{cases} \tag{1}$$

ただし、A:通水断面積 [m^2]、Q:流量 [m^3/sec]、t:時間 [sec]、x:空間座標 [m]、r:降雨強度 (横流入強度)[m^2/sec]、α:パラメタ [-](>0)、m:パラメタ [-](≥ 1)であるとする。伝播速度 [m/sec]$c = \dfrac{\partial Q}{\partial A}$ として (1) 式の第1式を差分法によって解く。具体的には、Beven[2]が提案した手法を参考にして以下のように差分化する (差分化のための記号の定義は図3参照)。

OHyMoSJ　Java　kinematic waveモデル　位数による集中化法
〒606-8501 京都市左京区吉田本町 075-753-5096 075-753-4907

$$\frac{Q_i^{t+1}-Q_i^t}{\Delta t}+\theta c_{i-\frac{1}{2}}^{t+1}\left(\frac{Q_i^{t+1}-Q_{i-1}^{t+1}}{\Delta x}-r\right)+(1-\theta)c_{i-\frac{1}{2}}^{t}\left(\frac{Q_i^{t}-Q_{i-1}^{t}}{\Delta x}-r\right)=0 \qquad (2)$$

ただし、$0 \le \theta \le 1$ は時間重み係数 [-] である。$c_{i-\frac{1}{2}}^{t+1}$ はこれから求めるべき未知量 Q_i^{t+1} に依存するので、反復法により未知量 Q_i^{t+1} を求める。

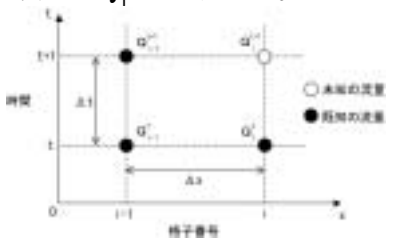

図 3 差分計算における格子座標

3.2 対象河道網 本研究では、河道区間数を 15 個持つ河道網のうち、最大位数が 2 である河道網 (図 4) および最大位数が 4 である河道網 (図 5) を研究対象河道網とする。以下では、前者を直線状河道網、後者を放射状河道網と呼ぶこととする。

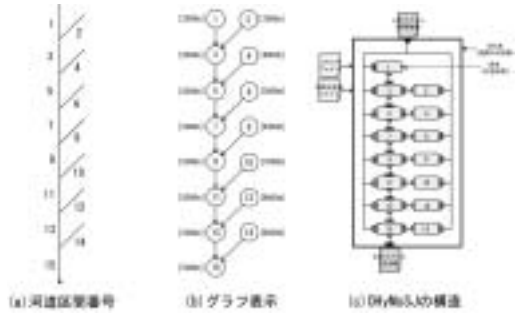

図 4 直線状河道網

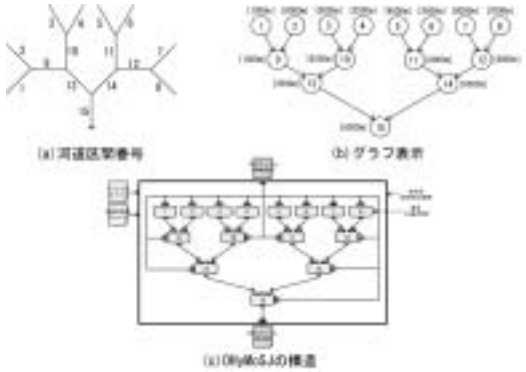

図 5 放射状河道網

3.3 直線状河道網における位数集中化 まず、位数が 1 の 7 つの河道区間の平均区間長を算出する。この平均区間長を持つ河道区間を位数 1 の代表河道区間と呼ぶこととし、河道区間番号を A とする。次に、位数が 1 の河道区間をすべて河道区間 A に置き換え、平均化する。こうして得られた河道網を図 6 に示す。

3.4 放射状河道網における位数集中化 3.3 項と同様にして、放射状河道網においても位数集中化を行う (図 7)。

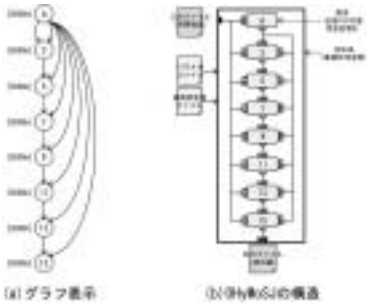

図 6 位数集中化を行なった直線状河道網

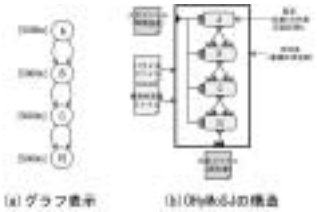

図 7 位数集中化を行なった放射状河道網

3.5 シミュレーション結果および考察 図 8,9 は、直線状、放射状河道網それぞれにおいて位数集中化法によりシミュレーション計算を行った結果である。比較対象として、位数集中化を行わずに河道網の構造に従って上流側から逐一追跡していく方法 (一般的な手法) でシミュレーションを行った結果もあわせて示す。両河道網において位数集中化法により得られたハイドログラフは一般的な手法により得られたハイドログラフによく一致していることがわかる。また、計算に要した時間に関しても、位数集中化を行った場合では一般的な手法と比較して直線状河道網においては約 1/2、放射状河道網においては約 2/3 短縮することができた。

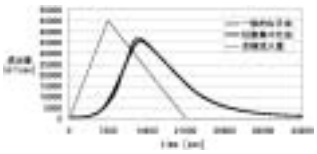

図 8 直線状河道網におけるシミュレーション結果

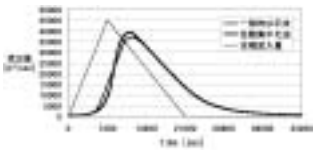

図 9 直線状河道網におけるシミュレーション結果

4 結語 本研究では、OHyMoSJ を開発し、その応用として kinematic wave モデルの位数による集中化法を示した。今後は、分散オブジェクト環境を実現する機能を OHyMoSJ に追加することを目指す。また、位数集中化法については、一般的な河道網においても適用できるよう改良する必要がある。

参考文献

[1] 高棹琢馬・椎葉充晴・堀智晴 : 流出シミュレーションモデル構成の新しい枠組み, 水工学論文集, 第 37 巻, pp. 805-808. 1993.

[2] Beven, K : On the Generalized Kinematic Routing Method, Water Resources Research, vol. 15, No.5, pp. 1238-1242.