

京都大学工学部 学生員 ○ 田村暢慶
京都大学防災研究所 正会員 小尻利治
京都大学防災研究所 正会員 友杉邦雄
京都大学工学研究科 学生員 小笠原伸行

1. はじめに

黄河流域では、近年、農工業の進展や人口増加、経済発展に伴い、水資源の利用量が大きく増加している。このため下流域においては、毎年断流が発生している状況である。黄河の断流は、現在中国国内で重大な環境問題となっており、また世界的にも注目されている。断流の原因を正確に分析しつつ、水資源の変化を科学的に予測することが急がれているが、中でも、土砂の生産、輸送、堆積の特性を把握することは、黄河の治水、利水と開発に対する1つの鍵であると言える。

2. 黄河における流域水循環モデルの構成

流域の水量、濁質の空間分布を推定するために、地表および地下を、全球スケールで15'メッシュに区切る。次に流域のモデル化において、土地利用、河道、標高、用水路の設定を行う。土地利用については、同じような流出特性、負荷発生特性のものを1つにするという方針で、52種類を5種類に再分類する。さらに、河道の位置や標高値を用いて落水線を描く。用水路については、落水線に沿う形で張り巡らし、用水路網で集約された水は最終的に河川へと流入するよう設定する。

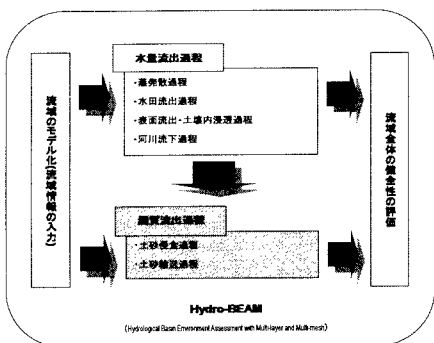


図1 黄河における流域水循環モデルの構造

3. 水量流出過程のモデル化

流出過程における適用条件、仮定を以下に示す。

- ・平面分布型としてはメッシュ型モデルを、また鉛直分布型としては多層モデルを用いる。すなわち、流域特性を3次元的に表現することができるメッシュ型多層流出モデル¹⁾を適用する(図1参照)。
- ・鉛直構造はA～Dの4層を配置する。
- ・A～C層の水平流出量は河川に流入させるが、D層は河川の流量には影響を及ぼさない地下水層とする。
- ・水田では、必要な維持湛水深を満たすように河川から灌漑用水の取水を行う日本の操作方式を採っているものと仮定して組み込み、地下浸透、用水路流出、畦畔越流を考える。
- ・大気-土壌間の水移動として蒸発散を考える。
- ・河川、地表面流においてはkinematic waveモデルを適用する。
- ・A層には復帰流を考慮したkinematic waveモデルを適用する。
- ・B～D層には線形貯留モデルを適用する。
- ・水田においては、メッシュの中央に用水路を1本配置し、表面流を流入させ、kinematic waveモデルを適用する。
- ・表層中の中間流の水深が層厚に達すると、復帰流として、地表面流が生じるものとする。

モデルの基礎式を以下に示す。

- ・kinematic waveモデル

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r(x, t) \quad (1)$$

$$q = \alpha h^m \quad (2)$$

ここに、 x :上流端からの距離、 h :水深、 q :単位幅当たりの流量、 r :単位幅当たりの横流入量、 t :時間、

α, m : 流れの抵抗則に関する定数

・線形貯留モデル

$$\frac{dS}{dt} = I - O \quad (3)$$

$$O = kS \quad (4)$$

ここに、 S : 貯留量高、 I : 流入強度、 O : 流出強度、 k : 浸透係数

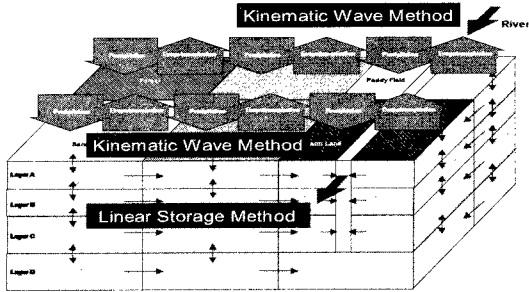


図2 水量流出過程の基本構成

図2は、適用する各水量流出過程の空間的關係を表したものである。

4. 濁質流出過程のモデル化

水と土砂（単一粒径とする）を加えた全容積の連続式は以下の式で与えられる²⁾。

$$\frac{\partial(C_L h)}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial(q C_L B)}{\partial x} = i_{sb} + \frac{q_{sl}}{B} \quad (5)$$

ここに、 C_L : 土砂濃度、 B : 河道幅、 i_{sb} : 河道の侵食または堆積速度、 q_{sl} : 崖錘または水みち側岸の侵食、あるいは崩壊の発生によって側岸から河道単位延長当たりには供給される土砂と水の流量

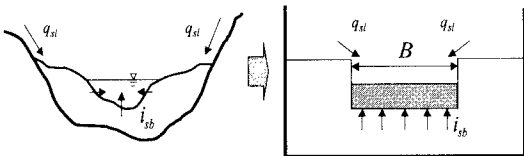


図3 河道断面での濁質流出の模式図

ただし、本研究では黄河のような高濃度に土砂を含む水を対象として解析を行うことから、河川水の土砂濃度は常に平衡状態にあるものと仮定し、河床侵食による土砂の生産は無いものとした。 q_{sl} については以下の式から算出する。

$$q_{sl}(t) = flux(t) + \sum_{k=1}^n \frac{A}{L} \{V_{ink}(t - \Delta t_k) + V_{slk}(t - \Delta t_k)\} \quad (6)$$

$$V_{slk}(t) = \beta_k \theta_k^{0.5} \{r_k(t)\}^2 \quad (7)$$

ここに、 $flux$: 単位幅当たりの流入水量、 A : メッシュ面積、 L : メッシュ幅、 V_{ink} : 自然崩壊によって発生する単位面積当たりの土砂量、 V_{slk} : 降水が表面を浸食することによって発生する単位面積当たりの土砂量、 Δt_k : 土砂が河川流入地点に到達するまでの時間遅れ、 β_k : 表面侵食の程度を表すパラメータ、 θ_k : 斜面勾配、 r_k : 降雨強度、 n : 域内で発生する土砂が対象河川区間に流入するメッシュの個数

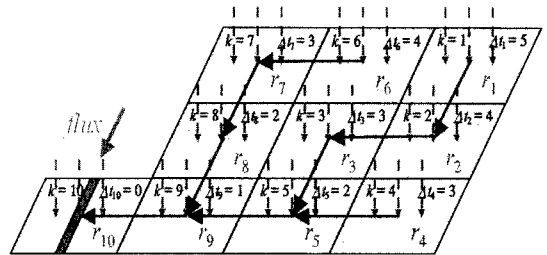


図4 濁質流出過程の概念図

5. 適用と考察

本研究では、1998年の気象データをもとに解析を行った。1998年は、初めて越年して断流が発生した年で、黄河本流のみならず、中流域の各主要支流でも断流が発生した。また、この年の花園口における最大洪水流量は4700m³/sであった。

各地点における、流出水量および流出土砂量については、発表時に示す。

6. 結論

本研究の対象流域のように、気象に関するデータや、土地の特性を示すデータが極端に不足している地域や、あるいは全球レベルでの適用を考えていく際に、本研究の過程が1つの指針となり得るだろう。

土砂の生産と流出の過程については、モデル化を行い、流出水量との関係を把握することができた。

参考文献

- 1) 木内陽一: 分布型短長期流出モデルによる流域水循環とその評価に関する研究, 京都大学大学院工学研究科修士論文, 2000
- 2) 高橋保他: 山岳流域における土砂流出の予測, 水文学論文集, 第44巻, 土木学会, pp.717~722, 2000.