洪水氾濫解析のための縮約モデルの開発

市川　温（京都大学）

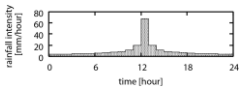
重点研究課題　研究課題番号（④）助成受付番号　第13010号

背景（1）

- 水災害リスクの評価：様々な外力を与えて洪水氾濫計算を繰り返し行いたい。
- 一般に洪水氾濫計算には大きな計算コストが伴う。
- いろいろな降水場を考えるのは現実的には難しい。

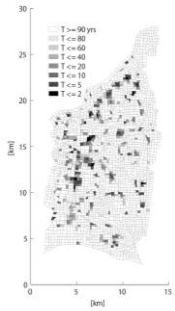
背景（2）

- たとえば…
  水災害危険度に基づく土地利用規制の評価
  （市川ほか, 2007, 2010など）



中央集中型降雨・空間的には一様

様々な再現期間の降雨を対象とした洪水氾濫計算



目的

- より高速な計算が可能な洪水氾濫計算モデルの導出

H26年度：

➢局所慣性方程式に基づく洪水氾濫モデルの計算機プログラム開発

➢氾濫水の流れ構造の基底を抽出する計算機プログラムの開発

➢洪水氾濫計算の縮約可能性の検証

情報の縮約（集約）とは

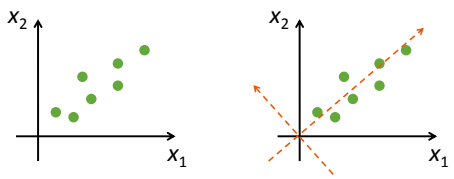
- 例：一次元流れ

氾濫水の水理量に関する情報の縮約

- 氾濫水の水理量の時間的空間的分布をさまざまなモードを持つ基底の線形結合として考える
- 比較的少数の支配的な基底で分布を近似（再現）できれば、水理量に関する情報を縮約できることになる
- 氾濫水の流れ構造の分析には固有直交分解（主成分分析）を用いる

固有直交分解（主成分分析）

- 多変量データの持つ情報を、少数個の情報に要約する手法



洪水氾濫計算モデル

- 一般には平面二次元不定流モデルが用いられることが多い
- 本研究では、局所慣性方程式（Bates et al., 2010）を用いた
  - ➢局所慣性方程式＝不定流モデル－移流項
  - ➢低平地の洪水氾濫計算では大きな違いなし
  - ➢計算の数値的な安定性が高い

局所慣性方程式

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial M}{\partial x}+\frac{\partial N}{\partial y}=r$$

$$\frac{\partial M}{\partial t}=-gh\frac{\partial H}{\partial x}-gn^2u\frac{\sqrt{u^2+v^2}}{h^{1/3}}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t}=-gh\frac{\partial H}{\partial y}-gn^2v\frac{\sqrt{u^2+v^2}}{h^{1/3}}$$

h: 水深、*M*: *x*方向の単位幅流量、*N*: *y*方向の単位幅流量、
r: 降水強度、*H*(=*h*+*z*): 水位、*z*: 地盤高、*u*: *x*方向の流速、
v: *y*方向の流速、*g*: 重力加速度、*n*: Manningの粗度係数

数値解法

- 直交格子
- 差分法（陽解法）

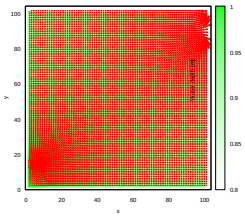
$$h_{i,j}^{n+1}=h_{i,j}^{n}-\frac{\Delta t}{\Delta x}\left(M_{i+\frac{1}{2},j}^{n+1}-M_{i-\frac{1}{2},j}^{n+1}\right)-\frac{\Delta t}{\Delta y}\left(N_{i,j+\frac{1}{2}}^{n+1}-N_{i,j-\frac{1}{2}}^{n+1}\right)+\Delta t r_{i,j}^{n+1}$$

$$M_{i-1/2,j}^{n+1}=\frac{M_{i-1/2,j}^{n}-gh_{f_{i-\frac{1}{2},j}}^{n}\frac{\Delta t}{\Delta x}(H_{i,j}^{n}-H_{i-1,j}^{n})}{1+g\Delta t n^2|M_{i-\frac{1}{2},j}^{n}|(h_{f_{i-\frac{1}{2},j}}^{n})^{7/3}}$$

$$N_{i,j-1/2}^{n+1}=\frac{N_{i,j-1/2}^{n}-gh_{f_{i,j-1/2}}^{n}\frac{\Delta t}{\Delta y}(H_{i,j}^{n}-H_{i,j-1}^{n})}{1+g\Delta t n^2|N_{i,j-1/2}^{n}|(h_{f_{i,j-1/2}}^{n})^{7/3}}$$

洪水氾濫計算

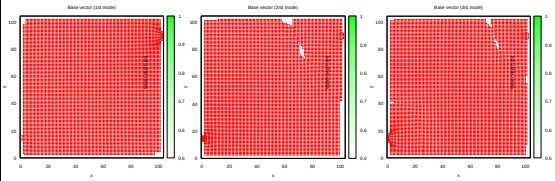
- 1km×1kmの仮想的な領域
- 左側の開口部（50m）から洪水流（10m³/s）が流入する
- 右側の開口部（50m）から流出する
- 格子間隔は10m



流入開始から24時間後

洪水氾濫計算の縮約可能性の検証（1）

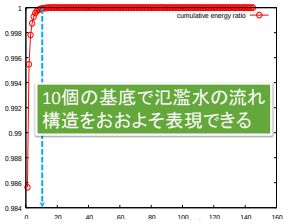
- 基底の抽出



第1基底　第2基底　第3基底

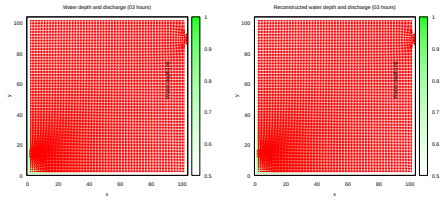
洪水氾濫計算の縮約可能性の検証(2)

- 基底のエネルギーの割合



洪水氾濫計算の縮約可能性の検証(3)

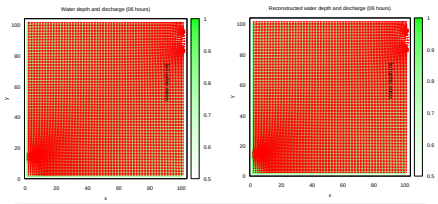
- 氾濫水の流れ構造の再現(第1～第10基底)



左:元の計算結果，右:再現結果(計算開始から3時間後)

洪水氾濫計算の縮約可能性の検証(4)

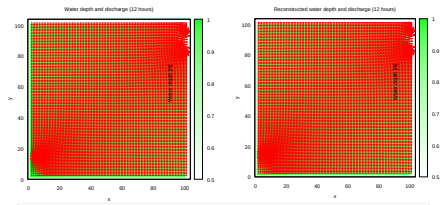
- 氾濫水の流れ構造の再現(第1～第10基底)



左:元の計算結果，右:再現結果(計算開始から6時間後)

洪水氾濫計算の縮約可能性の検証(5)

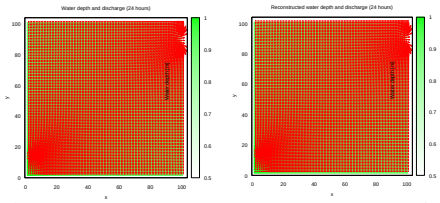
- 氾濫水の流れ構造の再現(第1～第10基底)



左:元の計算結果，右:再現結果(計算開始から12時間後)

洪水氾濫計算の縮約可能性の検証(6)

- 氾濫水の流れ構造の再現(第1～第10基底)



左:元の計算結果，右:再現結果(計算開始から24時間後)

まとめ

- 局所慣性方程式に基づく洪水氾濫モデル
- 固有直交分解による氾濫流構造の基底の抽出
- 洪水氾濫計算の縮約可能性の検証
- 今回の事例では10個程度の基底で元の流れ構造を再現できることを明らかにした

H27年度:

- 実際のケースでの検証
- 縮約されたモデルの導出