

京都大学大学院工学研究科	学生員	○田中智大
京都大学大学院工学研究科	正員	立川康人
京都大学大学院工学研究科	正員	椎葉充晴
京都大学大学院工学研究科	正員	萬 和明
京都大学大学院工学研究科	正員	Kim Sunmin

1 はじめに 近年, 気候変動が河川流況・水資源に与える影響が懸念されている. 立川ら¹⁾はHydroSHED²⁾の1km分解能の地形データから日本全国の流量を計算する全国分布型流出モデル1K-FRMを構築し³⁾, 温暖化予測実験の気象データを入力として河川流況分析を行った. これをさらに氾濫リスクにつなげることが重要であるが, 氾濫解析を日本全国の流域全体で行うには計算コストがかかり, かつ日本の河川流域において効率的でない. そこで本研究では, 気候変動に伴う氾濫リスク評価に向けて, 流出計算から氾濫計算までを一体的に行う90m空間分解能の分布型流出・氾濫モデルを構築するとともに, そのモデルを用いて1K-FRMの計算を必要な領域のみネスティングするモデルを構築した.

2 90m空間分解能の分布型流出・氾濫一体型モデルの構築 1K-FRMは地表面流型のキネマティックウェーブモデルを用いて流量を計算している¹⁾. 一方, 本研究で構築した90m空間分解能の分布型流出・氾濫一体型モデルでは, 氾濫水深および下流の河川流量を正確かつ高速に計算するためにBatesら⁴⁾によって提案されたInertial Model⁴⁾を用いた. Inertial Modelは以下に示す運動方程式の移流項のみを無視した運動式と, 連続式を組み合わせる流れを追跡するモデルである.

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial(uq)}{\partial x} + g \frac{\partial(h+z)}{\partial x} + \frac{gn^2|q|q}{h^{7/3}} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

ここで, q は単位幅流量, h は水深, u は流速, z は河床高, g は重力加速度, n はマンニングの粗度係数である. また, 単位幅流量 q と水深 h はスタガード格子状に定義する. 2次元の場合は, 運動式(1)式を x, y 方向に立てて, 2次元の連続式と組み合わせる.

Inertial モデルは運動式(1)式および連続式(2)式を差分化するとき, まず運動式を差分化して, 時刻 t で

の水深 h_t および流量 q_t のみから時刻 $t + \Delta t$ での流量 $q_{t+\Delta t}$ を求め, 次に連続式を差分化して, 時刻 t での水深 h_t および時刻 $t + \Delta t$ での流量 $q_{t+\Delta t}$ から時刻 $t + \Delta t$ での水深 $h_{t+\Delta t}$ を求める⁵⁾. このように, Inertial Modelは支配方程式を陽解法で解くため, 繰り返し計算を必要としない. またサンブナン式中の流量の時間変化の項を考慮することによって計算が安定し, 拡散波モデルに比べて時間ステップを大きくとることができる⁴⁾. したがって, Inertial Modelは氾濫計算を高速に行うことができる.

本研究で構築したモデルでは, 集水面積の閾値を定め, 集水面積が閾値より小さいグリッドには2次元のInertial Modelを適用し, 閾値より大きいグリッドは河道とみなして1次元のInertial Modelを適用した. また, 河道グリッドの河道幅は立川ら¹⁾で用いられた実験式を採用し, その他のグリッドの東西方向・南北方向の流量は, グリッドサイズ $\Delta x, \Delta y$ を用いてそれぞれ $q\Delta x, q\Delta y$ とした. また, 各グリッドの連続式の右辺には有効降雨強度を入力する.

3 1km空間解能から90m空間分解能への分布型流出モデルのネスティング 1K-FRMを90m空間分解能の分布型流出・氾濫一体型モデルでネスティングする場合, 境界グリッドでの流量の受け渡しの問題となる. 本研究では氾濫現象に大きく寄与するのが河道の流量であると考え, 図1のように, 90m空間分解能のモデルの境界グリッドが河道グリッドの場合のみ1K-FRMの境界の流量を受け渡すことにした. ただし, 地形データの空間解像度の違いにより, 90m空間分解能の河道グリッドと1kmグリッドの空間分解能の河道グリッドの位置が少しずれていることがある. その場合は, 90m空間分解能の境界河道グリッドの1つ上流のグリッドに最も近い, 1K-FRMの河道グリッドの流量を境界流量として受け渡すようにした.

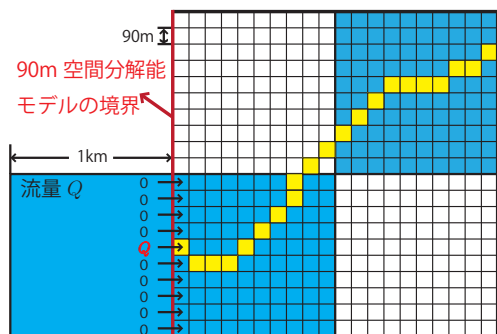


図1 1K-FRMと90m空間分解能モデルの接続図(青色:1K-FRMの河道グリッド, 黄色:90m空間分解能モデルの河道グリッド)

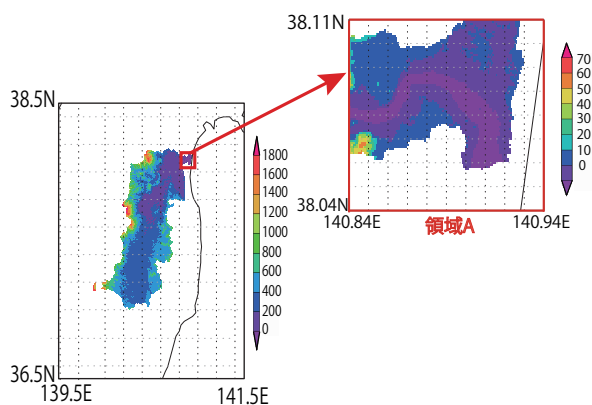


図2 阿武隈川流域の90m空間分解能の標高データ

4 計算結果

4.1 空間分解能の異なるモデルによる流量の比較

1K-FRMで計算した流量と、1K-FRMの計算を一部90m空間分解能のモデルでネスティングして計算した流量を、福島県から宮城県に流れる1級河川阿武隈川流域(5400km²)下端で比較した。阿武隈川流域全体の90m空間分解能の標高データを図2に示す。阿武隈川流域全体を1K-FRMで計算した場合の流量と、図2中の領域A(約100km²)を90m空間分解能の分布型流出・氾濫モデルでネスティングした結果を図3に示す。入力降雨は、図3に示す仮想降雨強度を流域内で一様に与えた。図3から、Inertial Modelを採用した90m空間分解能のモデルの方が、ピークが平らになっており、曲線が滑らかな様子がわかる。

4.2 分布型流出・氾濫一体型モデルの計算結果

次に、降雨強度0.1m/hourの降雨を流域内で一様に与えた場合の図2中の領域Aの水深分布について降雨開始後から24時間後の結果を図4に示す。図2に示した領域Aの標高と図4から、標高の低い部分に雨水が集積し、水深が大きくなる様子がわかる。

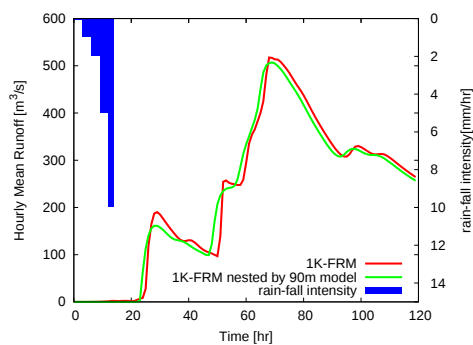


図3 流量(赤:1K-FRMの結果、緑:1K-FRMの結果を領域Aをネスティングした結果、青:降雨強度)

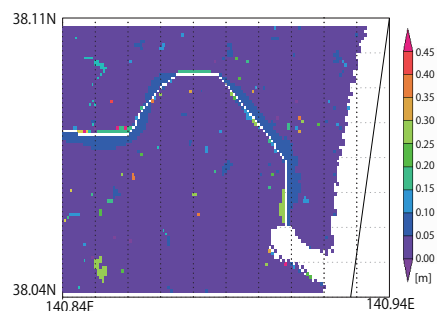


図4 降雨開始から24時間後の領域Aの水深分布

5 まとめ 本研究では、1K-FRMをもとに、流量の時間変化項を考慮した拡散波モデルを用いて分布型流出・氾濫一体型モデルを構築し、任意の領域をネスティングするモデルを構築した。今後は、モデルに堤防および都市の排水効果を組み込み、実際の洪水・氾濫事象を対象に、モデルの妥当性を検証する予定である。

参考文献

- 1) 立川康人, 滝野晶平, 藤岡優子, 萬 和明, キムスンミン, 椎葉充晴: 気候変化が日本の河川流量に及ぼす影響の予測, 土木学会論文集, 67(1), pp. 1-15, 2011.
- 2) USGS: HydroSHEDS, <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/data/sets.php>
- 3) 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻水文・水資源学分野: 1K-FRM/DHM, <http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/products/1K-DHM/1K-DHM.html>
- 4) Paul D. Bates, Matthew S. Horritt, Timothy J. Fewtrell: A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modeling, Journal of Hydrology, Vol387, pp. 33-45, 2010
- 5) Gustavo A. M. deAlmeida, Paul D. Bates, Jim E. Freer, and Maxime Souvignet: Improving the stability of a simple formulation of the shallow water equations for 2-D flood modeling, WATER RESOURCES RESEARCH, Vol48, W05528, 2012