

水田サブグリッドモデルを組み込んだ分布型流出モデルに基づく 流域全体における田んぼダムによる洪水調節の定量評価

東京理科大学大学院 学生会員 ○伊藤毅彦, 尾形勇紀, 吉村亮祐
東京理科大学 正会員 柏田仁, 二瓶泰雄

1. 背景と目的

我が国では現在、109の1級水系及び12の2級水系において各々で流域治水プロジェクトが策定されている。これは流域内のあらゆる関係者が治水対策を取り組むものであり、今後の洪水災害の被害軽減に寄与する重要な全国的プロジェクトである。洪水調節対策の具体例としては、田んぼダムや雨水調整池、ため池、浸透ますなどが挙げられる。そのため、これらの流域治水対策メニューを定量的に評価可能な流域全体での水動態モデリングが求められる。田んぼダムに関する既往研究に着目すると、水田1枚単位での水収支解析を行うアプローチが多く^{1),2)}、小流域における現地実験や数値解析に限定されており、広域での検証は稀有である。本研究では、流域治水対策としての田んぼダムの広域展開を行うために、水田の水収支を評価可能なサブグリッドモデルを開発するとともに、分布型流出モデルの一つであるRRIモデル^{3),4)}に組み込んだ数値モデルを構築した。本モデルを千葉県鹿島川流域に適用し、水田貯留による洪水調節効果を定量的に検証した。

2. サブグリッドによる水田水収支モデルとRRIモデルへの組み込みの概要

一般的な分布型流出モデルでは、各計算格子の土地利用(被覆)分布を一律に与えるが、実際は格子内で分布を持つことが多い。本研究では、計算格子内の土地利用分布を考慮しつつ、水田水収支を評価可能なサブグリッドモデルを構築した(図-1)。ここでは、①各グリッドにて土地利用ごとの面積割合 α_i を求め、②土地利用毎に浸透係数を与えて地下浸透量を求め、③水田を含むグリッドにて水田内の水収支を計算する、としている。ここで、格子内の水田の面積率を α_1 としたときのサブグリッドの水田水収支は、降雨、鉛直浸透、排水管による排水を考慮すると、次式ようになる。

$$\alpha_1 \frac{dh_p}{dt} = \alpha_1 r - \alpha_1 f_1 - q_{out} \quad (1)$$

ここで、 t は時間、 h_p は田面水深、 r は降雨強度、 f は浸透強度、 q_{out} は排水量である。一方、同一格子内の水田以外の土地利用の水収支式は以下ようになる。

$$(1 - \alpha_1) \frac{\partial h_s}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = (1 - \alpha_1) r - \sum_{i=2}^4 \alpha_i f_i + q_{out} \quad (2)$$

ここで、 h_s は水田以外の部分の水深、 q_x, q_y は x, y 方向の流量フラックス、 α_i, f_i は水田以外の土地利用(畑地、山林、非浸透域、 $i=2-4$)の面積率と浸透強度である。また、排水量 q_{out} は同一格子内の水田から水田以外の部分に流入させている。式(1)、(2)の和は以下ようになる。

$$\frac{\partial h_s}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = r - f - \alpha_1 \left(\frac{\partial h_p}{\partial t} - \frac{\partial h_s}{\partial t} \right) \quad (3)$$

式(3)はRRIモデルの連続式³⁾と類似しており、水田貯留を表す右辺第3項のみ加えた形である。よって、本サブグリッドモデルの実装は容易である。

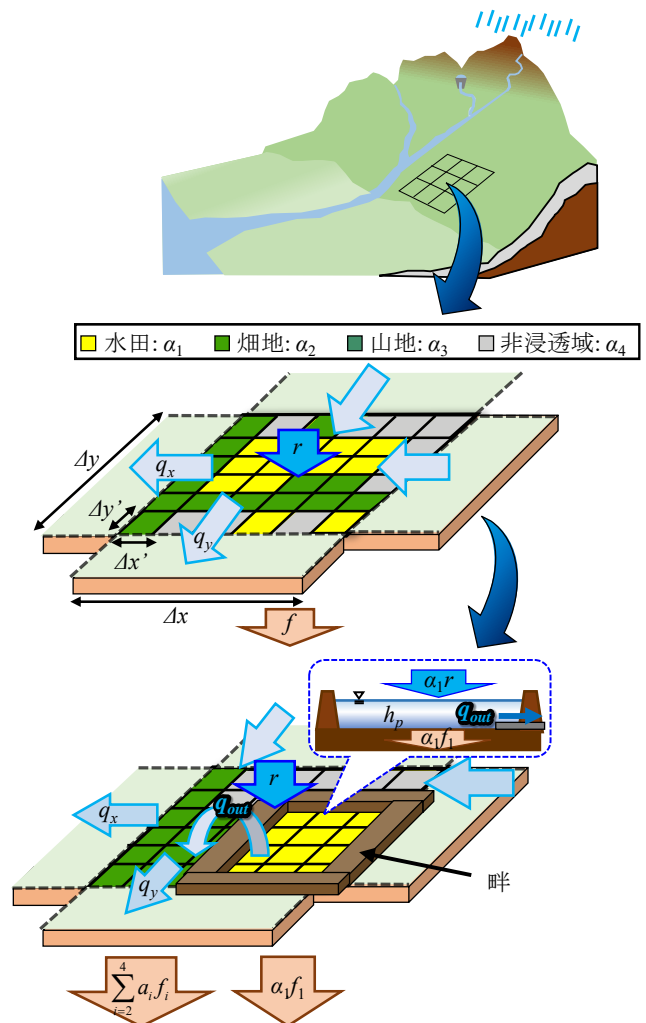


図-1 本モデルにおける水動態解析の枠組み

キーワード：流域治水, 水田貯留, 田んぼダム, RRIモデル, サブグリッド, 鹿島川流域

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 5号館 3階 水理研究室 TEL: 04-7124-1501 (内線 4069)

3. 鹿島川流域への適用

(1) 流域概要と解析対象洪水

解析対象の印旛沼の最大流入河川である鹿島側流域と土地利用マップを図-2に示す。流域面積は250.4km²であり、最大支川は高崎川(流域面積86.7km²)である。土地利用としての水田率は流域全体で10.6%であり、主に河道沿いに分布する。鹿島川流域では、2019年10月の台風21号により大規模な河川氾濫が生じ、この洪水イベントを対象として水田貯留効果の検証を行った。

(2) 解析条件

本解析の格子幅は5秒(約150m)とし、日本域表面流向マップ(1秒解像度)⁵⁾を元与えた。高解像度土地利用土地被覆図(約10m, JAXA, 図-2)から得られる土地利用データを用いて、各格子の土地利用面積率を求めた。入力降雨は気象庁の解析雨量とし、計算期間は10/25 0:00~10/27 0:00とした。RRIモデルの各種パラメータに関しては、既往の洪水イベント(イベント数10)を対象に、観測流量(高崎川高岡橋)との比較からキャリブレーションを行った。本計算では氾濫を考慮しない。田んぼダムの貯留効果を検証するために、水田からの排水管高さを複数変えた(現況0.022m)。

(3) 解析結果

高崎川高岡橋地点における河川流量の観測値・解析値の時間変化を図-3に示す。これより、ハイドログラフの形状は良好な一致は見られないものの、流量ピーク値は観測値と解析値は概ね一致した。同様の状況は他の洪水イベントでも確認されており、パラメータの再検証や別途河川流モデルとのリンクが必要である。

本モデルの計算結果の一例として、田面水深(流域平均値)と印旛沼合流点の河川流量の時間変化を図-4に示す。ここでは、本水田サブグリッドモデルを用いない結果(凡例では0mと表示)と、排水管高さを現況と0.05m~0.25mと変えた全7ケースの結果を示す。なお、田面水深には0mの結果は含まれていない。まず、田面水深は排水管高さが高いほど高くなり、水田貯留されている。河川流量を見ると、水田貯留を実施しないケース(0m)と実施するケースでは、ハイドログラフの形状が大きく異なっている。水田貯留により、流量ピーク値が低減するのみならず、流量の立ち上がりが遅延していることが分かる。これより、一般的な分布型流出解析における水田の取り扱いでは、水田貯留が本来有する洪水調節効果を再現できていないことが示唆される。また、流量ピーク値は、現況を基準として水田貯留無しのケースは14.6%の増加、排水管高さを0.25mとしたケースは10.5%の低下がそれぞれ示され、水田貯留による洪水流量低減効果が定量的に示された。なお、田んぼダムにより河川水位や氾濫規模に及ぼす影響については、今後の検討課題である。

謝辞: 本研究はJSPS 科研費JP21J21704の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

参考文献: 1) 吉川ら: 農業農村工学会論文集, 2009. 2)

Kobayashi, K. et al: *Hydrol. Res. Lett.*, 2021. 3) 佐山ら: 土木学会論文集 B1(水工学), 2013. 4) Sayama, T. et al: *Prog. Earth Planet. Sci.*,

2020. 5) 山崎ら: 土木学会論文集 B1(水工学), 2018.

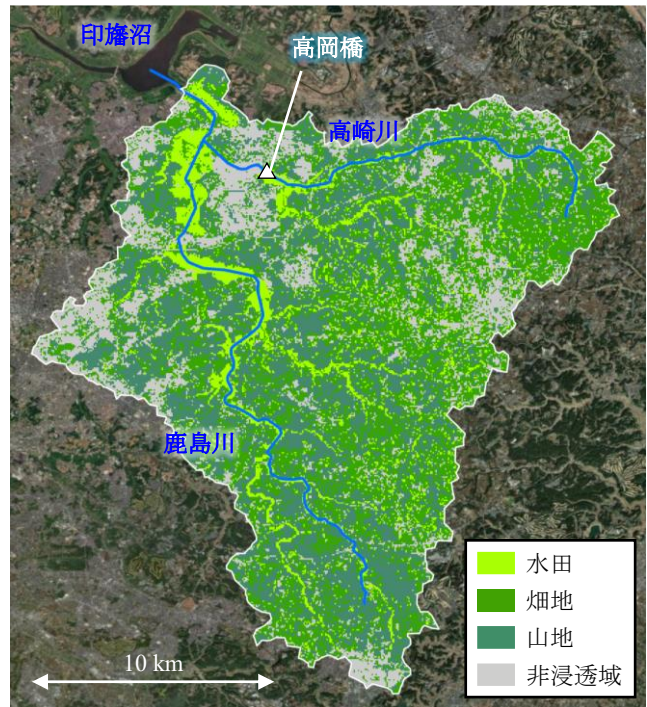


図-2 鹿島川流域内の土地利用分類図

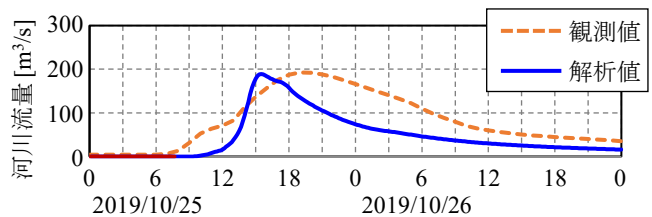


図-3 高岡橋地点における河川流量の観測値と計算値

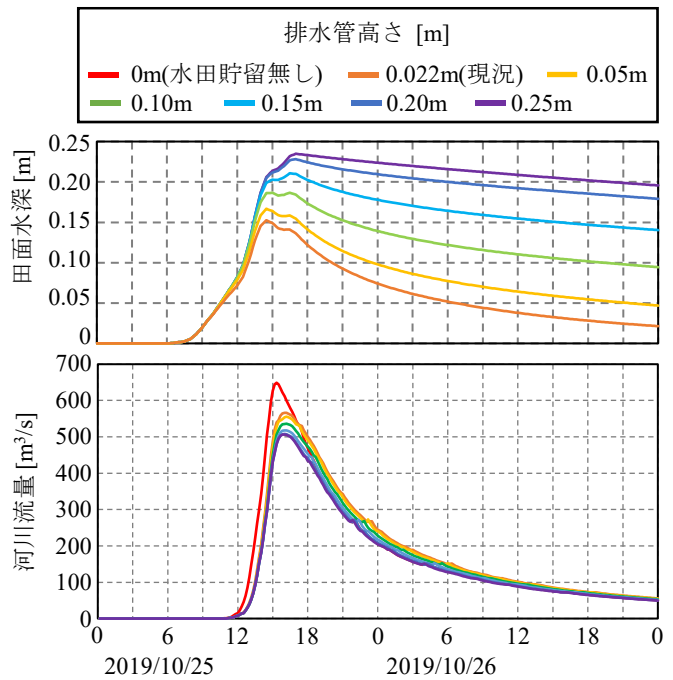


図-4 流域平均の田面水深と印旛沼合流地点の河川流量の時間変化