

京都大学	博士（工学）	氏名	AULIA FEBIANDA ANWAR TINUMBANG
論文題目	Evaluation and improvement of runoff generation schemes in land surface models for long-term streamflow simulations (長期河川流量計算のための陸面過程モデルにおける流出発生量計算スキームの評価と改善)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、陸面過程モデルにおける流出発生量の計算スキームを検証し、その改善を図ることによって河川流域の長期流量計算の予測精度向上を実現したものである。本論文は以下の6章から構成されている。</p> <p>第1章は序論である。2011年にタイで発生した大洪水を例としてグローバルな気候モデルを用いた洪水予測の重要性を指摘し、全球気候モデルなどの出力値を用いた洪水予測に関する研究をレビューしている。これら研究では、全球気候モデルや領域気候モデルの出力値として流出発生量が利用されているが、その値にはバイアスが含まれていること、その要因のひとつとして全球気候モデルや領域気候モデルに組み込まれている陸面過程モデルに起因する不確実性が存在することを取り上げ、陸面過程モデルによって算出される流出発生量の予測精度向上の重要性を指摘している。その上で、陸面過程モデルにおける流出発生量の計算スキームを検証し、その改善を図ることによって長期河川流量計算を高精度化することが本論文の目的であることを述べている。</p> <p>第2章では、陸面過程モデルに関する研究をレビューし、その上で本論文における研究手法について述べている。これまでに開発されてきた陸面過程モデルについてレビューし、地表面をバケツモデルで表現した単純な第一世代モデル、植生の存在を陽に表現し土壌中の水分移動も考慮した第二世代モデル、そして炭素循環を取り込んだ第三世代モデルのように、陸面過程モデルを内部で考慮されている物理過程によって分類し、本論文で対象とするのは第二世代モデルに分類される陸面過程モデルであることを述べた。次に、陸面過程モデルの比較実験についてレビューし、個々のモデルの挙動や開発の方向性を確認するためには、比較実験が有力な研究手法であることを指摘した。以上を踏まえて、本論文では、京都大学防災研究所で開発されたSiBUCと気象庁気象研究所で開発されたMRI-SiBを対象として比較実験を実施し、流出発生量の計算スキームを検証して高精度化に取り組むことを述べている。対象流域は長期流量予測シミュレーションで再現が難しい雨期乾期の明瞭な流域とし、タイ国チャオプラヤ川の支流ピン川のブミポンダム上流域(26,400km<sup>2</sup>)を対象とした。</p> <p>第3章では、河川流量予測の観点から、陸面過程モデルによって推定される流出発生量の特性を分析した。まず、全球気候モデルのMRI-AGCM3.2Sおよび領域気候モデルNHRCMに組み込まれた陸面過程モデルMRI-SiBによる流出発生量を河道流追跡モデルに入力し河川流量を推定した。一方で、MRI-AGCM3.2SとNHRCMが出力する気候データを外力としてSiBUCによる流出発生量を計算し、それを河道流追跡モデルに入力して河川流量を推定した。これらを比較することにより、共通の外力の</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	AULIA FEBIANDA ANWAR TINUMBANG
<p>もとで陸面過程モデルの違いによる流出特性の違いを分析した。その結果、陸面過程モデルの基本構造が同じであり、同一の気象条件を与えても、陸面過程モデルの細部の違いにより、流出特性が大きく異なることを見出した。すなわち、SiBUC では降雨応答が速い表面流出が卓越し、MRI-SiB では降雨応答が遅い基底流出が卓越することを見出した。</p> <p>第 4 章では、流出発生量の計算スキームを詳細に分析した結果を示している。まず初めに、両モデルとも土壌を鉛直方向に 3 層の土層構造で表現し、単純化したリチャーズ式を用いて鉛直浸透過程をモデル化している点で同一の基本構造を持つが、設定されたモデルパラメータ値は SiBUC は飽和透水係数が小さく土壌層厚が厚い設定となっていること、MRI-SiB は地表面から土壌深部への浸透過程を考慮したモデル化となっていることを確認した。また、SiBUC では陽解法が、MRI-SiB では陰解法が採用されており数値解法が異なることを確認した。これらの検討を踏まえて、MRI-SiB の流出発生量スキームと同等のシミュレーション結果が得られる計算スキームを SiBUC に移植し、SiBUC を用いて MRI-SiB の流出特性を再現するエミュレーションモデルを開発した。エミュレーションモデルを用いることによって、流出量発生スキームを変更した様々な数値実験を行うことにより、適切な流出発生量スキームを見出すことを可能とした。</p> <p>第 5 章では、長期河川流量計算を目的として陸面過程モデルの予測精度向上に取り組んだ結果を示している。SiBUC でエミュレーションした MRI-SiB による流出発生量を用いて河川流量を推定した場合、渇水年では再現精度が高く、洪水年では流量が過大推定となることを見出した。そこで、浸透計算において重力排水を考慮すること、SiBUC で使用している土壌パラメータを適用することにより、MRI-SiB の予測精度を向上させることに成功した。また、SiBUC による流出発生量を用いて河川流量を推定した場合、MRI-SiB とは異なり洪水年では再現精度が高く、渇水年では流量が過大推定となることを示した。そこで、浸透計算において土壌第 2 層への直接浸透を考慮すること、土壌層厚を元の設定よりも薄く設定することにより、SiBUC の予測精度を向上させることに成功した。</p> <p>第 6 章は結論であり、本論文の主要な成果をまとめている。</p>			

氏名

AULIA FEBIANDA ANWAR  
TINUMBANG

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、陸面過程モデルにおける流出発生量の計算スキームを検証し、その改善を図ることによって河川流域の長期流量計算の予測精度向上を実現したものである。主な研究成果は以下のように要約できる。

1) 評価対象とした陸面過程モデルは、京都大学防災研究所で開発された SiBUC と気象庁気象研究所で開発された MRI-SiB である。両モデルは基本構造は同じであるが細部の計算スキームは異なり、両モデルに同一の気象条件を与えて河川流量計算を実施すると、異なる流出特性が得られることを見出した。すなわち、SiBUC では降雨応答が速い表面流出が卓越し、MRI-SiB では降雨応答が遅い基底流出が卓越することを見出した。

2) 両モデルが異なる流出特性を示す原因を明らかにするために、流出発生量計算スキームの詳細な分析を行った。その結果、両モデルは土壌を鉛直方向に3層の土層構造で表現し、単純化したリチャーズ式を用いて鉛直浸透過程をモデル化している点で同一の基本構造を持つが、設定されているモデルパラメータ値や地表面から土壌深部への浸透過程の表現方法、さらには数値解法が異なることを確認した。

3) MRI-SiB の流出発生量スキームと同等のシミュレーション結果が得られる計算スキームを SiBUC に移植し、SiBUC を用いて MRI-SiB の流出特性を再現するエミュレーションモデルを新たに開発した。エミュレーションモデルを用いて流出発生スキームを変更した様々な数値実験を行うことにより、適切な流出発生量スキームを見出すことを可能とした。

4) 上記のエミュレーションモデルを用いて、河川流量計算の精度を向上させるために適切な流出発生量スキームを検討した。その結果、MRI-SiB では、浸透計算に重力排水を導入すること、SiBUC で使用している土壌パラメータを適用することにより、予測精度が向上することを見出した。また、SiBUC では、浸透計算において土壌第2層への直接浸透を導入すること、土壌層厚を元の設定よりも薄く設定することにより、予測精度が向上することを見出した。

以上のように、本論文は、陸面水文モデルの流出発生量の計算スキームを改善し長期河川流量計算を実施してその適用性を検討したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年1月24日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。