

審査の結果の要旨

氏名 山崎 大

気候変動や人間社会の変化に伴い、水問題が今後世界的に逼迫すると考えられる中で、グローバルな河川流量の高精度シミュレーションが必要とされている。しかしながら、既存の全球河川モデルは水深や浸水域といった地表水の貯留形態を十分に考慮できなかった。これに対し、本論文は、大陸河川における大規模氾濫を予測する数値モデルを構築したものである。

第 1 章での研究の背景、動機づけの説明の後、第 2 章では、氾濫原の浸水過程を物理的に記述した全球河川モデルが構築され、河川流量シミュレーションを実行して氾濫原の導入と流下計算の物理モデル化が大規模氾濫の予測精度に与える効果が議論された。まず、衛星地形データからサブグリッドスケールの氾濫原地形パラメータを抽出し、全球河川モデルの枠組みで貯水量から現実的な水深と浸水面積を診断するスキームが構築された。これにより水位が現実的に再現されるようになり、水面勾配に基づいて流速と流量を物理的に算定する拡散波方程式の導入が可能となった。河川流量シミュレーションの結果、氾濫原浸水過程の導入によって大陸河川における大規模氾濫時の日流量変動の再現性を大幅に向上させること、また拡散波方程式の導入によって流量だけでなく水位や浸水域も現実的に再現できることが確認された。

第 3 章では、第 2 章で開発した全球河川モデルの河道網構築と地形パラメータ導出の際に用いられた表面流向データの解像度変換アルゴリズムの詳細が説明されている。既往のアルゴリズムでは河道網の流下方向は隣接 8 方向に限定されていたため、解像度変換後に際し、手作業による河道網の編集が不可欠であった。これに対し本論文では、流下方向を柔軟に設定できる新たな解像度変換アルゴリズムを提案し、河道網の自動構築および高解像度化に成功している。また、全球モデルの各グリッドにおいて貯水量と水深と浸水域の関係を実地形に基づいて記述することも可能となっている。

第 4 章では、大規模氾濫を考慮した全球河川モデルの地形パラメータの基礎となる衛星地形データの誤差解析と修正とが論述されている。本論文では、デジタル標高モデル(DEM)に河道や流域界情報を埋め込むことで作成した表面流向データを参照し、現実的な標高と流れの連続性の双方を満足するように DEM

の誤差を修正するアルゴリズムが構築された。修正 DEM を用いた氾濫シミュレーション結果から、特に氾濫原において、河道と氾濫原をつなぐ細いチャネルが表現されていることが、氾濫計算の精度を向上させるのに重要であることが明らかとなっている。

第 5 章では、アマゾン川の地表水動態を対象に、第 2 章～第 4 章で開発した全球河川モデルが河川流量だけでなく水位変動を再現できるかどうかを検証されている。アマゾン川流域は非常に平坦な盆地に広がるため、水動態は地形勾配よりも水面勾配に支配されており、潮汐による海面変動が河口から 1000 km ほど上流まで伝搬することが知られている。アマゾン川流域全体の水動態シミュレーションの結果、本流の河口から 1500km 上流までの区間でモデルが予測した水位変動は衛星観測と高い相関を示し、水位の季節変動が良好に再現された。また、絶対的な水面標高（海面からの標高）も衛星高度計による観測値と直接比較できる精度であることが示されている。さらに、河口境界条件で潮汐による変動を考慮したシミュレーションにより、河口から 800km 上流の Obidos 観測所でも潮汐による 15 日周期の水位変動成分の卓越が確認され、河川流量の偏差が河口から上流へと伝搬することで、アマゾン流域の内陸部での潮汐による水位変動が引き起こされるメカニズムが示された。

第 6 章では、メコン川流域における気候変動の影響評価結果が示されている。まず、現在気候におけるメコン川全域の河川シミュレーションが行われ、急勾配の上流域だけでなく、氾濫原を有する中流域およびトンレサップ川の逆流も含めて開発した全球河川モデルが河川流量を良好に再現できることが確認されている。次に、気候モデル出力を用いて温暖化時の洪水流量予測が行われた。その結果、メコン川本流では降水量の増加に伴って洪水ピーク流量が増加する傾向を確認したほか、トンレサップ流域では降水量の増加は見られないにも関わらず本流の水位上昇で逆流が激しくなるために浸水が激しくなることが推計された。

このように、本論文は、大河川の氾濫を物理的に考慮することによって河川水位や流量、氾濫面積、さらには逆流など、グローバルスケールでは不可能であった河川水循環の高精度数値シミュレーションを可能とし、現象の解明に寄与すると共に、実用的な予測精度の向上にも寄与するものである。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。