

論文の内容の要旨

論文題目 全球土砂動態モデリングに関する研究
(Study on Global Sediment Dynamics Modeling)

氏名 鳩野 美佐子

本論文は、河川を通じた全球土砂動態に関して、全球河川氾濫モデルを用いて表現し、その時空間変動の要因を解明することを目的としている。土砂は多くの栄養塩や有機物を含んでおり、洪水などによって栄養豊富な土砂が下流域へともたらされる。また土砂流出増加による魚類へのストレスやダム内の堆積による利用容量の減少が問題としてあげられる。土砂に関する研究の多くは小流域を対象とした比較的ローカルな空間スケールを対象としていることが多い。しかし、洪水により沿岸域へと流出する鉄分や窒素を多く含んだ土砂は海洋生物に影響を及ぼし、また、土砂供給の増減によって海岸線は変化するため、大陸から全球を対象とした広域スケールでの土砂動態も重要である。さらに、土砂動態の解明によってそれに付随する炭素や窒素に関する全球循環の解明にもつながると考えられる。しかしながら既存の土砂動態モデルは、大半が小流域スケールを対象としたものであった。数少ない全球スケールを対象としている土砂動態モデルは、多くの経験的なパラメータを必要とする上、時間解像度が荒く、観測されている大きな日々変動を表現するには不十分なものである。そこで本論文では、全球スケールの土砂動態を物理法則に則って表現できるモデルを開発し、陸域の土砂収支を適切に表現すると同時に日々スケールでの土砂動態の解明を試みた。全球スケールでの土砂動態のモデル化は、次世代海洋モデルに必要な入力情報となってくる陸からの土砂流入量を提供することをはじめ、河床・海底地形の時系列変動の精度向上にもつながることが期待され、水文学に限らず様々な分野で非常に有益となると期待される。

上記の目的を達成するために、まず、世界中の土砂濃度/輸送量の観測データベースを作成した。土砂に関する観測値は、全球スケールでのまとまったデータベースがこれまで存在しなかったため、様々な機関から土砂濃度/輸送量

に関する観測データを収集し、それらの性質や取り扱い方法についてまとめた(2章)。次に、全球土砂動態モデルを開発し、全球スケールで土砂輸送量の日単位変動から季節変動さらには年々変動までが表現可能となった(3章)。河川流量の再現性が高い地点で観測値と比較した検証を行い、観測された含有土砂量の季節変動を再現することに成功した(4章)。また、開発したモデルでは土砂の動きを河道内に限定しているため、陸域全体における土砂動態の導入に必要な物理過程について議論した(5章)。以下に各章の要旨を述べる。

第2章では土砂濃度や輸送量の観測データ収集について述べた。これまでの観測ベースの土砂研究は、特定の地域や流域で行われており、土砂と流量の関係性を表す係数などに移転可能性がないことが通常である。さらにIPCCの第5次報告書では気候変動により土砂輸送量が増えるという観測に基づく証拠は足りないと言われている。そこで世界中の土砂に関する観測値を収集することによって包括的な性質の分析を試みた。また、これまでの土砂動態の観測研究では、観測手法に関する情報が共有されていない場合が多く、データの性質や取り扱い方が分かりにくい状況である。そこでできる限り多くの観測データ及びそのメタ情報を収集し、それらの性質をまとめたデータベースを作成した。現段階では全球で月単位、カナダ・アマゾン川・アメリカ・中国・日本・オーストラリアで日単位のデータを収集した。主にインターネット上で公開されているものから収集し、その他は論文著者や該当機関から直接入手した。一部重複もあるが、有効なデータをもつ観測地点は計4505地点あり、最も古いデータはアメリカのコロラド川における1929年のものである。

第3章では本論文で開発した全球土砂動態モデルの枠組み及びそれぞれの物理過程について述べた。枠組みとしては東京大学を中心として開発している統合陸域モデルIntegrated Land Simulator(ILS)を用いた。ILSを用いることにより他モデルとの結合やシナリオ実験などが容易となる。導入した物理過程は土砂生産、土砂輸送、土砂巻上・堆積である。流体とともに流下する浮遊砂と河床付近を滑動・転落などしながら流下する掃流砂の2種類の輸送形態を考慮し、砂・シルト・粘土の3種類の代表粒径を用いて混合粒径を表現した。またモデルには、計算の安定化のために指数関数による解析解から土砂流出量を求める手法、流速等で表現される河道内の水理レジームに応じて変容する巻上・沈降過程を表現する手法を実装した。

第4章では用いた実行したシミュレーションの計算設定及び結果について述べた。ELSE-GPCCの気象外力を用いて1979-2000年におけるシミュレーションを行い、1981-2000年の20年間について解析を行った。浮遊砂は大河川に沿って多く輸送され、上流から下流につれてその量が増えていくことを示した。また、高緯度では雪解けにつれて浮遊砂輸送量や浮遊砂濃度が増加していく様

子をとらえることができた。第2章で収集した土砂濃度や土砂輸送量の観測データを用いて検証を行った。河口付近での年間浮遊砂輸送量はアマゾン川や東南アジアでは観測値と似た傾向を示すものの、東アジアやアメリカ西海岸では過小評価となった。巻上・沈降過程に水理レジームの違いによる変容を実装した場合、流量の再現性が高い地点では浮遊砂輸送量の季節変動も観測値とよく合致した。河川流量の再現性がいい地点では季節変動はうまく再現できているものの、ピーク値等は全体的に過小評価しており、海洋への全球浮遊砂輸送量は文献値と比べて約13~23%程度であった。また、採用している経験式等のパラメータの感度実験を行った。浮遊砂輸送量や浮遊砂濃度に対して土砂生産過程と増水時の巻上過程が大きく不確実性があることが分かり、パラメータの調整により全球浮遊砂輸送量の文献値の幅を捉えることができた。新しく構築された土砂動態モデルにより全球を高い空間解像度で、かつ日・月単位での土砂動態を表現することが可能となり、衛星データのような全球データを用いた検証やデータ同化などへの応用が期待される。

第5章では、開発した全球土砂動態モデルを用いた陸域全体における土砂動態の表現に必要な物理過程について議論した。開発した全球土砂動態モデルは土砂の動きを河道内に限定しているため、陸域全体における土砂動態を表現するには物理過程のさらなる追加や緻密化が必要となる。ここでは氾濫原での土砂動態・土砂生産量の緻密化・河床変動のフィードバックの3点について考察した。氾濫原での土砂動態の考慮によりAmazon川流域では変動幅が大きくなり、ピークのタイミングが遅くなることが分かった。また、河道と氾濫原では侵食・堆積傾向が異なり、氾濫原における土砂動態導入の必要性が示唆された。土砂生産量の緻密化のためにサブグリッド地形パラメータを用いた斜面勾配の算定法や降水量だけでなく植生を通じた水滴や表面流による土砂生産量をより物理的に算出することを試みた。サブグリッド地形パラメータを用いることにより斜面勾配はほとんどのグリッドでCTL実験より大きくなり、浮遊砂輸送量も増加した。水滴等を考慮した土砂生産量の算定によりAmazon川では氾濫によって水滴の衝撃が吸収されるためCTL実験と比べて土砂生産量が減少することが分かった。氾濫原内の浸水域と非浸水域を分けて算定し、全球へと展開するために新たなパラメータ設定が必要である。また、河床変動のフィードバックによりAmazon川本流では河川流量の季節変動が大きくなることが分かった。河床変動は河道勾配や河道深・水深に影響を及ぼし、河床地形の時系列変動やそれに伴う洪水リスクの変化が表現可能となる。

最後に第6章では全体をまとめて結論とした。