

論文の内容の要旨

論文題目：陸域水循環システムにおける流体・熱・化学物質・土砂輸送の連成モデリング技術の開発

氏名：森^{もり} 康二^{こうじ}

流域を視点とした水をはじめとする様々な物質とエネルギー（熱量）の循環システムは、あらゆる生命の維持と繁栄のための場を形成する。この物質・エネルギー循環の健全性、すなわち、それらの「入」と「出」を如何にバランスさせるかは、自然共生とか持続可能性が求められる21世紀の地球環境問題において極めて重要な着眼点となる。地上で営まれる様々な人間活動は、流域の物質・エネルギー循環に変化を与える原因となるが、今日に至る複雑多様化した変化の中では、もはや流域で何がおこっているかをイメージすることでさえ困難な事態に直面していると言えるであろう。物質・エネルギー循環の健全性を監視するためには、それらの正味収支が最も直接的な数値指標の1つとなるが、フィールドの平面的、立体的広がりに対して容易に計測できるものではない。そこには、流域内を循環する物質、エネルギーとそれらに関わる様々な素過程を一体化した数理モデリング技術が有効となる。

本研究では、こうした流域物質・エネルギー循環系の実態把握、環境監視や管理のために有用となる新たなシステム統合化技術の確立を目指し、陸域水循環システムにおける流体、熱、化学物質、土砂の同時輸送過程を考慮した新しい連成モデリング技術を開発した。流域を対象とした数値解析技術には既に様々なものが考案されているが、本解析手法の特徴の1つは、斜面、河川、帯水層などの流域を構成する部分（流域コンポーネント）に分離して、それらを個別に解析したのち、経験的パラメータ等を用いて再結合する従来法によらない統合化技術に基づく複合事象の連成モデリングにある。本研究では、上述の従来法を一括してWR (Watershed Routing) と称し、本提案手法の利点を提案した。本研究では、WRに依らない地表水・地下水結合解析技術をベースとし、流体、熱、化学物質、土砂間で生じる様々な相互作用過程をプログラミングした新たな数値シミュレータを開発した。

開発した数値シミュレータは、厳密解や実験値が得られている比較的単純な系に対する基本動作と数値解の検証を行うとともに、実フィールドにおける流域問題へ適用した。具体的には、シカの食害によって荒廃した水源林の土壌流亡問題（流体・土砂系の同時輸送解析）、流域河川からの栄養塩負荷流入等による閉鎖性水域の水質汚染問題（流体・化学物質系の同時輸送解析）、降下放射性セシウムによる流域汚染問題（流体・化学物質・土砂系

の同時輸送解析) などの実流域を対象としたケーススタディを実施し、観測データとの比較による再現性検証と実フィールドへの適用性を評価した。これらのケーススタディは、いずれも流域を地上、地下連成系として一体的にモデル化したものであり、従来の解析技術や既往の数値シミュレータでは適用そのものが困難なものである。本研究で開発した数理モデリングは、地上の水・土砂流出量、地下水位、地上地下の物質濃度等の多地点、多項目の観測データを矛盾なく再現することにより、直接視ることができない流域システムの内部構造を同定する有効なツールとなる。

本研究の成果は、従来困難であった陸域水循環システムにおける流体・熱・化学物質・土砂の同時輸送過程を地上、地下を一体化した流域モデリングの中に実用レベルで統合化した点として要約される。これらは、それぞれの保存量の輸送過程と相互作用によって決定づけられる。言うまでもなく、本研究で開発した連成モデリング手法が流域で生じる実現象のすべてを包含できているわけではない。実流域を対象としたケーススタディを通じて幾つかの課題も明らかになった。

今後は、食糧やエネルギーの安全保障の視点を含めた異分野領域の多様なニーズを扱う流域問題の解決へ取り込むことが可能となり、適用領域の大幅な拡大が期待される。作物収量を最大化しかつ水質汚染を最小化する土地・水利用のあり方などの客観的な分析を可能とする評価ツール等はその一例である。このような多目的最適化問題への適用事例はまだ限られており、取り扱う問題の規模も小さく研究途上にある。複雑化する多様な流域問題の計画立案及び政策意思決定に役立つ実用的ツールとしての発展させてゆくことが期待される。