

審査の結果の要旨

氏名 澤田洋平

干ばつとそれに続く飢饉は、人類の持続可能な開発の大きな阻害要因となっている。人口が増加し気候が変化する現代において、これらの問題に対して社会の頑健性を確立することは、今後の人類の発展動向を左右する重要な課題であるといっても過言ではない。土壌水分や河川流量などの陸域の水文量、あるいは植物の炭素固定量を求めることは古くから水文学・生態学の中心的な課題であったが、これらの物理量全てを統合的に数値モデルで表現し、観測によって定量化し、物理量間の関係を正確にシミュレーションすることは容易でなかった。課題の解決には、定性的な現象理解にとどまらず、定量的に現実のプロセスを再現できる安定したシステムを構築できなければ社会実装への道は遠い。

本論文では、干ばつに対する世界の防災・減災能力を高めることを目的として、河川流量や土壌水分、地下水を含む水文学的干ばつや、作物生産指標を用いた農業的干ばつを、モニタリングし、その影響を評価し、予測する手法を開発している。特に、ミクロなスケールで現象をつぶさに観察することのできる地上観測実験、より大規模な地上観測、全球スケールの衛星観測、そして数値シミュレーションを紡ぎ合わせる独創的なアプローチによって、これまでに無い高精度で陸域の水文・植生量と干ばつ過程の定量的な推定や予測を実現している。本論文の特徴は、以下の5つの研究開発過程を効果的に組み合わせて、水循環から作物生産までを一貫して水文学的、農業的干ばつの統合的な解析手法を開発しているところにある。

第1は地上観測実験に基づいたマイクロ波リモートセンシングによる植物水分量観測アルゴリズムの開発と検証である。本研究では、地上可搬型マイクロ波放射計による、植物を植えた農地からのマイクロ波輝度温度観測を継続して行い、植物生体内の水分量を推定する新しいアルゴリズムを開発した。異なる形状を持つ複数の植物種に対し、人為的に環境を操作可能な条件で長期観測を行った研究はこれが初めてである。マイクロ波観測における陸面粗度の効果と植物の効果の関係を明らかにし、可視領域のセンサーによる観測を組み合わせることでより精度よく陸面の状態と植物水分量を同時に観測できることを明らかにした。また開発したアルゴリズムをオーストラリアの観測サイトのデータを用いて衛星のフットプリントのスケールで検証し、世界最高水準の精度で陸域の表層土壌水分と植物水分量の同時取得を達成した。

第2はマイクロ波衛星データを利用した、水文-陸上生態系結合同化システムの開発である。まず、陸上の水文過程と植物の成長との相互作用を正しくシミュレーションすることに特化した新しい陸域水文-生態系結合モデルを開発した。このような陸域モデルの予報精度はモデル内部の未知パラメータの値とシミュレーションの初期値に大きく依存する。未知パラメータと初期値を得てモデルの精度を高めるため、前述したマイクロ波リモートセンシングによるデータをモデルに同化する水文-陸上生態系結合同化システムを開発している。

このシステムの精度を世界各地の現地観測地点のデータを用いて検証し、世界最高水準の精度で陸域の水循環と植物の成長を推定できることが示された。

第3は生態水文モデルを用いた統合的干ばつ解析アプローチである。前述した陸域水文-生態系結合モデルを用いて気象学的干ばつ・水文学的干ばつ・農業的干ばつの3種類の干ばつ全体を河川流域スケールでモニタリングできる数値シミュレーション・データ解析のフレームワークを世界に先駆けて開発している。全体として1つの干ばつイベントを、時間スケールの異なる3種類の干ばつに分解することでより精緻に干ばつという現象を捉え、緩和・適応策を支援する情報の提供が可能となった。

第4は、第1～第3を統合して、ケニア・エチオピア・ソマリア地域を対象にした「アフリカの角」の干ばつモニターと、さらに気象の季節予測モデルの出力を組み合わせた1ヶ月から1年の干ばつ予測システムの開発である。本システムでは、陸域水文-生態系結合モデルのパラメータと初期値を同化システムにより精度良く推定することにより、2010～2011年の2年連続干ばつのアンサンブル予測に成功している。

第5は、生態系の極端な干ばつに対する適応のメカニズムとその人間の水資源利用への影響の評価である。本論文では、オーストラリアのミレニアム干ばつに着目し、2001-2009年の長期に渡って降水量が平年より少なかったにも拘らず、可視領域の衛星による植生動態観測では干ばつによる植生へのダメージはあまり顕著には見られなかったことを捉えて、生態系には干ばつに対してある程度の頑健性があり、干ばつ時に植物が平時とは異なる水利用の戦略を取ると考えるという科学的仮説を提示している。上述の第3で開発した、陸域水文-生態系結合モデルにこの過程を実装し、植物の干ばつへの頑健性の構造を考察し、植生の面的構造変わらないが、鉛直的な構造が変化するという可能性を明示している。

以上、本論文はマイクロなスケールで現象をつぶさに観察することのできる地上観測実験、より大規模な地上観測、全球スケールの衛星観測、そして数値シミュレーションを組み合わせ、これまでに無い高精度で陸域の水文・植生量と干ばつ過程を定量的に推定するとともに、干ばつという現象に対して新しい視座を与えており、科学的、社会的有用性に富む独創的な研究成果と評価できる。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。