

審査の結果の要旨

氏名 李 曦

本論文は、マイクロ波リモートセンシングを用いたグローバルな洪水の時空間解析に関する学術論文である。地球温暖化及び人類活動によって、自然災害の増加が指摘される中、グローバルな洪水頻度も上昇しつつあることが報告されている。洪水によって引き起こされる経済活動への影響を正確に評価し、将来計画に役立てるためには、衛星による観測手法を確立しデータベースを整備することが必要不可欠である。衛星を用いた洪水の観測には、雲の影響を受けにくく、広域に情報が得られるマイクロ波リモートセンシングが、可視赤外のリモートセンシングと比較して有利であるが、空間解像度と観測頻度とのトレードオフの関係の検討、観測メカニズムの相違に伴う精度検証が不十分であったため、期待されてきたほどには利用が進んでこなかった。洪水はグローバルに発生し、時空間的な動態は非均一性が高いため、これを定量的に継続的に把握する統一的な手法の開発が長らく待ち望まれていた。本論文では、およそ 40 年間のデータが利用可能なマイクロ波放射計 SSMI、AMSR-E、WindSAT、AMSR2 を用いて Land surface water coverage (LSWC) 指数を開発し、異なるセンサ間での校正検証を行うことにより、これまでに類をみない長期間のグローバル洪水データベースを作成することを目的とした。まず、グローバルな洪水災害チャーターである Disaster charter から、土地利用の異なる世界各国で発生した大規模な洪水事例を 17 収集し、それぞれの履歴に対応する合成開口レーダー SAR、中分解能可視データ Landsat、低分解能可視赤外放射計 MODIS を収集し、検証データとなる洪水分布図データセットを作成した。その結果、Landsat や MODIS では、雲がない限りは、目視でも十分に確認できる精度で洪水分布図の作成が可能であったが、湿地性森林や農地など植生で覆われている場合には、見落としが発生することが明らかとなった。一方で、ALOS PALSAR など SAR を用いた観測では、入射角の依存性が認められたが、経験的な補正を施すことにより、十分高い精度で洪水分布図を作成できることが明らかとなった。一方で、山岳地域などで発生する shadowing は、洪水として誤検知の原因となるため、取り扱いに注意が必要である。マイクロ波と可視センサによる相互の誤差は 17 地域でおよそ 8 から 14% 程度であり、検証データとして十分であることを確認した。次に、マイクロ波放射計 AMER-E から得られる 5 つの周波数帯のうち、それぞれトレードオフにある空間解像度と雲の影響を中心に、洪水検知に適した周波数帯の検討を行った。マイクロ波放射計による陸域の観測は、これまで雪氷や土壌水分を中心に検討が進められてきたが、洪水の見地に関

する知見は乏しかった。5つの周波数と、垂直偏波 V、水平偏波 H の組み合わせを検討した結果、23.8GHz と 36.5GHz の垂直偏波 V を用いた正規化周波数指数(Normalized Polarization Index, NDFI)が、先の SAR, Landsat, MODIS から得られた検証データと比べて、最も高い相関を示すことが明らかとなった。次に、過去 40 年間のマイクロ波放射計である SSMI, AMSR-E, Windsat, AMSR2 において、センサの違いによる計測誤差の評価を行った。それぞれの運用期間のうち数カ月程度重なっている観測期間に観測されたデータを相互に比較したところ、主に空間解像度の違いに起因する輝度温度の差が見られたため、全球の大河流域分布図 Hydro1K を用いて、流域ごとに補正係数を割り出し、相互で整合性のある経験式を全 68 流域について作成し、データが利用可能な 1987 年から 2015 年までのグローバルな 29 年間のデータセットを作成した。次に、作成した LSWC データベースから、年々変動、季節変動を除去し、偏差を算出することにより、日ベースでの洪水を 10km 四方の画素領域ごとに計算し、流域別に洪水面積を算出した。LSWC から算出した洪水面積の年々変動は、全 68 流域のうち、減少傾向を示した流域は見られず、ほとんど変化しない地域(0-5%)が 18%、少し増加する地域(5-10%)が 34%、大きく増加した地域(10%以上)が 48%を占めた。洪水面積の季節変動を降水量と比較したところ、類似した変化パターンを持っていたが、洪水面積の年々変動は、降水量とは統計的に有意な相関関係は見られなかった。そこで、過去 40 年間の土地被覆変化に着目し、農地、森林、都市と洪水面積との関係を調べた。その結果、特にアジアやアフリカにおいて森林が減少し、農地や都市への転用が大きく見られた。1992 年から 2012 年までに、中国の長江流域と黄河流域では、農地面積は大きく変化はしなかったが、都市面積が 10 倍から 15 倍に増加し、洪水を受けるリスクが都市で高まっていることが明らかとなった。また、インドのガンジス川流域では、農地がおおよそ 2 倍に増加し、LSWC の年々変動成分と高い相関を示すことが明らかとなった。様々な衛星計測から得られる情報を効果的に組み合わせて、従来の手法に比べて極めて広域にかつ長期的に洪水を検知する手法を開発した点で、本研究で提示する手法は優位性が認められる。また、これらの情報を収集する、中長期的な衛星観測計画に組み込むことのできる一連の手法とデータセットを開発した点で工学的な有用性も高く評価することができる。

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。