

氏 名	HALAKE GUYO RENDILICHA		
授与した学位	博 士		
専攻分野の名称	工 学		
学位授与番号	博甲第	7 1 4 3	号
学位授与の日付	2 0 2 4 年 9 月 2 5 日		
学位授与の要件	環境生命科学研究科 環境科学専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	Spatiotemporal and Long-term Evaluation of Groundwater Recharge in a Steep Forested Catchment Western Japan by Hydrological Modeling (水文流出モデルを用いた西日本の急峻な森林流域における地下水涵養量の時空間的・長期的評価)		
論文審査委員	教授 森 也寸志	教授 西村 伸一	教授 諸泉 利嗣
学位論文内容の要旨			
<p>Groundwater, representing nearly 99% of Earth's liquid freshwater, is crucial for billions of people and ecosystems worldwide, providing potable water and maintaining hydrological stability. However, its sustainability relies on groundwater recharge processes that replenish aquifers. Inadequate recharge can lead to decreased storage, threatening sustainability. In humid-temperate regions like Japan, groundwater significantly contributes to downstream flows due to high infiltration capacity and steep slopes. Despite abundant precipitation, the steep hillslopes and rapid river flows in Japan lead to frequent water shortages. Japanese catchments face two unique challenges: the upper mountains and highlands are periodically covered in snow and vulnerable to climate change, while the lowlands and plains are highly urbanized, increasing water demand. These characteristics impact the water balance, necessitating further investigation. Japan's large areas of coniferous forest plantations, established after WWII for timber production, and native broad-leaved forests contribute to higher evapotranspiration (ET), affecting water yield and usable water resources. Rapid forest growth, fueled by increased atmospheric CO₂ and a warming climate, has accelerated ET, potentially reducing groundwater recharge (GWR). Despite groundwater management efforts since the 1900s, studies on spatiotemporal variability and long-term effects of forest growth on recharge are limited. This thesis applied the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model to estimate the spatiotemporal variability and magnitudes of shallow groundwater discharge and deep groundwater recharge over a decade in chapter three. Chapter four evaluated the impact of forest growth dynamics on hydrological processes and groundwater recharge by improving the SWAT forest growth module using remote sensing data, long-term historical forest inventory data, and multi-calibrating for Leaf Area Index (LAI), ET, and streamflow. Results showed significant variability in shallow and deep groundwater recharge influenced by climatic conditions and slopes. Upper mountainous areas, influenced by snow, accounted for most groundwater recharge, while urbanized lowland areas contributed less. During the driest year, both shallow and deep groundwater recharge were insufficient to meet daily water demand, indicating the need for alternative water storage methods. Long-term forest growth increased ET and reduced GWR in the first 20 years after forest establishment, with ET increasing 7.6 times per year of forest growth. Deciduous broadleaf forests showed stable ET and GWR trends, suggesting mature trees have more consistent water use. The study found that forest growth impacts hydrological flows more than climate change, emphasizing the need to consider forest growth dynamics in the long-term catchment water balance studies. Improved forest growth representation and ET calibration in the SWAT model enhanced hydrological flows and groundwater recharge estimates as evidenced by the improved statistical model performance indicators. This thesis contributes valuable knowledge to forest hydrology and groundwater management, elucidating the interactions between forest growth, hydrological processes, and groundwater recharge.</p>			

論文審査結果の要旨

急峻な森林流域を多くもつ日本では、地下水からの流出量が河川流量に大きく寄与しており、地下水は水資源の一部として非常に重要な役割を担っている。地下水を持続可能な水資源として将来にわたって利用してゆくためには、地下水涵養プロセスの詳細な理解と定量化が必要不可欠である。

本論文では、西日本の急峻な森林流域を対象に水文流出モデルを用いて、まず、浅層地下水流出量と深層地下水涵養量の時間的・空間的変動とその大きさを解明するとともに、雨の最も少ない年と季節において地下水が流域の水需要を満たすことができるかについて検討した。次に、リモートセンシングデータ、森林インベントリの長期データ、葉面積指数、蒸発散量、流量に関するマルチキャリブレーションを行うことにより水文流出モデルの森林成長モジュールを改良し、長期にわたる森林成長ダイナミクスが地下水涵養量と水文プロセスに与える影響を評価した。

その結果、気象条件と傾斜の影響を受けた浅層地下水流出量と深層地下水涵養量は大きな変動を示し、積雪の影響を受ける山岳地帯の上部域では、浅層地下水流出量の42%、深層地下水涵養量の46%と流域全体の大部分を占めたが、都市化された低地では浅層地下水流出量の13%、深層地下水涵養量の5%とその寄与率は山岳地帯の上部域に比べて小さかった。傾斜に関しては、流域内の20%以下の傾斜が浅層地下水流出量と深層地下水涵養量の両方の変動に大きく影響していた。雨の最も少ない年と季節では、浅層地下水流出量と深層地下水涵養量だけでは日単位の水需要を満たすことができない可能性があり、雨水を貯留するために貯水池などの代替水源を利用して水需要を補う必要があることが示された。また、長期的な森林成長により、常緑針葉樹林では植林後最初の20年間で蒸発散量は増加し、地下水涵養量は減少した。一方、落葉広葉樹林では安定した蒸発散量と地下水涵養量の傾向を示したことから、成熟した木はより安定的に水を消費していることが明らかとなった。

以上のように、本論文は地下水涵養量の時空間変動とその大きさ、および長期にわたる森林成長を考慮した地下水涵養量と水文量の関係を明らかにしたものであり、学術的に高く評価できる。また、最も雨の少ない年と季節では地下水だけでは水需要を満たすことができず、地下水に代わる代替水源が必要なことを示した点は工学的にも有用な知見となり得る。よって、本学位審査委員会は、本論文が博士（工学）に値するものと判定する。