

京都大学	博士 (工学)	氏名	EILIF KURNIA DEDA DJAMRES
論文題目	IMPACTS OF LANDUSE CHANGE ON RAINFALL-RUNOFF PROCESS AT HUMID TROPICAL HILLSLOPES IN INDONESIA (インドネシアの熱帯湿潤域における土地利用変化が山腹斜面の降雨流出過程に及ぼす影響)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、インドネシアの熱帯湿潤域における土地利用変化が、山腹斜面の降雨流出過程に及ぼす影響を明らかにすることを目標とし、スマトラ島バタンハリ川上流域における土地被覆が異なる二つの山腹斜面を対象に、地下水位の計測を行うとともに、降雨流出過程を物理的に再現する水文モデルを用いた数値シミュレーションを実施している。現地でサンプリングされた土壌の水理特性を反映した水文モデルを構築したうえで、ジャングル・ラバーの二次林と、パーム椰子林の水文特性を比較している。樹冠遮断や蒸発散の違いをモデルで反映し、土地利用変化が降雨流出過程に及ぼす影響を分析しており、以下の4章で構成されている。</p> <p>第1章は序論である。温帯域に比べて、熱帯湿潤域における降雨流出過程に関する基礎的な研究が十分に進んでいないこと、1990年代以降急速に進められてきたスマトラ島をはじめとするインドネシアの土地利用変化が流域全体の水循環に及ぼす影響の理解が不可欠であること、そのためには山腹斜面のスケールで地下水位等の現地計測を実施し、遮断や蒸発散の影響も含めた物理的な水文モデリングが重要であることを述べたうえで、本研究の目的と構成を記述している。</p> <p>第2章は研究対象地域の説明である。本研究で対象とした二つの山腹斜面の位置関係を示したうえで、共通する事項として気候や地質について説明している。両斜面は約1 km以内の距離に隣接し、いずれも高い保水性と透水性を有する比較的厚い土層厚で覆われている。本論文でSKサイトと呼ぶ斜面は、ジャングル・ラバーを中心とした二次林の熱帯林である。また、PRサイトと呼ぶ斜面は、植林後15年程度のパーム椰子が生育している。簡易貫入試験やボーリング調査で調べた土層厚は、SKサイトの上部で1.5 m程度と相対的に薄く、斜面の下部で4~5 mと相対的に厚くなっている。一方、PRサイトは全般的にさらに厚い土層厚で覆われており推定約8 m以上である。さらに、サンプリング調査の結果、表層土壌の水理特性に大きな違いは無いことを報告している。</p> <p>第3章は山腹斜面の地下水変動について現地計測とモデリングの解析結果を示している。熱帯湿潤域における降雨流出過程の研究は、世界的にみても、温帯湿潤域に比べると研究事例が限られている。既往研究の多くは、温帯湿潤域と同様に、多くの雨水が土層に浸透して飽和側方流として流出することが報告されているが、上記のように厚い土層厚に覆われた山腹斜面でも同様の傾向がみられるのかは明らかになっていない。本研究は、SKとPRの両斜面を対象に、それぞれ3地点において地下水位の変動を計測するとともに、一部、テンシオメータの計測結果も補完的に用いて、分析結果を報告している。その結果、SKサイトの斜面下部において、4~5 mの土層中には、表層から2~3 m程度の深さで恒常的に地下水が存在し、その水位は降雨に対して10分程度の単位で鋭敏に応答していることが分かった。一方、斜面中部では土層と堆積岩の風化基岩層の境界面に地下水位が保持されており、そこからの雨水の供給が下部の恒常的な地下水位と鋭敏な応答をもたらしているものと推察された。PRサイトの山腹斜面においても厚い土層厚中に6 m程度の深さで地下水位の存在が確認されるものの、SKサイトのそれに比べると降雨に対する応答は緩慢なものであり、雨季と乾季の季節に応じて地下水位が長期的な変動傾向を示した。現地観察、浸透能試験、表層土壌水理特性から判断して、PRサ</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	EILIF KURNIA DEDA DJAMRES
<p>イトでも地表流が支配的な降雨流出過程とは考えにくく、両斜面ともに地中流が代表的な降雨流出過程であることが示唆された。このような地下水位の変動特性の違いが何によってもたらされるのかを理解するため、本研究では降雨流出氾濫 (Rainfall-Runoff-Inundation Model) を斜面スケールに適用した。ここで用いた RRI モデルは、保水曲線や透水係数など土壌の水理特性を直接反映できるように改良されたモデルである。両斜面の地形的な特性や土層厚などを反映することによって、計測された地下水位の変動特性を再現できることを確認している。また、両者のパラメータ等を交換する数値実験の結果、斜面地形と土層厚が地下水位の変動特性に重要な役割を果たしていることを明らかにした。特に、PR サイトのように斜面全体で風化が進んで厚い土層で覆われているような場合には、地下水位の変動が緩慢になることが想定された。この結果は、調査斜面における限定的なものであるが、SK の斜面に比べて PR の斜面は降雨に対してより多くの雨水を一時的に貯留して、ゆっくりと流出させることが示唆され、隣接する斜面でも流出機構が異なる可能性を示している。</p> <p>第4章は、土地利用変化が斜面における樹冠遮断や蒸発散の影響を調査するために、蒸発散および遮断モデルを導入した。ペンマン-モンテース式で推定された可能蒸発散量 (PET) によれば、SK サイトの PET は約 1,420 mm で、PR サイトでは約 1,060 mm であった。SK サイトでは、より高い樹冠と表面粗度のために PET が高くなった。一方、樹冠遮断は温帯湿潤域を対象に開発された鈴木モデルをもとに、熱帯湿潤域の森林やパーム椰子林で計測された既往研究の結果をレビューして同モデルのパラメータを同定した。その結果、SK サイトの樹冠遮断率 (30%) は PR サイトのそれ (15%) よりも高いことが分かった。また、PET、樹冠遮断率ともに PR サイトの方が SK サイトよりも高くなるため、流出をもたらす水分量は、SK サイトよりも PR サイトの方が多くなることが分かった。本研究では、遮断蒸発や蒸発散を反映するモデルを RRI の斜面モデルにオフラインでカップリングするとともに、統合したモデルに「root zone」と「蒸発散閾値」の2つの特性を反映させることによって、植物の水の摂取を調整し、実際の蒸発散や地下水変動をより現実的に表現できるように改良した。特に、SK サイトにおいて、乾季においても地下水位が保持されている実現象を再現するためには、上記の特性の反映が不可欠であった。モデル推定の結果、SK サイトの年間流出量は 1,740 mm、OP サイトのそれは 2,060 mm と推定された。すなわち、二次林からパーム椰子に土地利用が変換された場合に、年間流出量が 18%程度増加することが示唆された。森林伐採による年間流出量の増加は、既往研究でも報告されており、それらの研究結果と整合的である。ただし、月流量の観点では、実蒸発散の月変動が土地利用の違いによって異なり、乾季の SK サイトの流出は乾季の PR サイトの流出よりも低減することが分かった。さらに、日流量データをもとに作成した流況曲線を比較すると、SK サイトでは洪水流量 (Q5) が PR サイトよりも高く、低水流量 (Q90-Q95) が低下することが分かった。これらの研究結果は、水文モデルを用いた土地利用変化の影響評価において、遮断や実蒸発散の影響を加味することの重要性を示すものである。一方、それらを考慮しない場合には、土地利用変化に伴う年間流出量の変化が過大に評価されることが分かった。既往研究でも可能蒸発散量を直接水文モデルに導入した研究があり、その結果の解釈には注意が必要である。</p> <p>第6章は結論であり、本論文の主要な結論をまとめている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、インドネシアの熱帯湿潤域における土地利用変化が、山腹斜面の降雨流出過程に及ぼす影響を分析したものであり、以下の研究成果を得ている。

(1) スマトラ島の典型的な二次林 (SK サイト) とパーム椰子のプランテーション林 (PR サイト) を対象に、二つの山腹斜面で地下水位の変動を計測した。その結果、SK サイトの斜面下部は 4~5 m の土層で覆われており、表層から 2~3 m 程度の深さで恒常的に地下水が存在し、その水位は降雨に対して鋭敏に応答した。PR サイトでも地表から 6 m 程度の深さで恒常的な地下水が確認されたものの、降雨に対する応答は SK サイトに比べて緩慢であり、雨季と乾季に応じて長期的に変動する傾向を示した。

(2) 両斜面における地下水位の変動特性の違いが何によってもたらされるかを明らかにするため、RRI モデルを斜面スケールに適用した。両者のパラメータ等を交換する数値実験を実施した結果、斜面地形と土層厚が地下水位の変動特性に大きな役割を果たしていることが分かった。特に、PR サイトのように斜面全体が厚い土層で覆われている場合、地下水位の雨水応答は緩慢になることが分かった。

(3) 土地利用変化が山腹斜面における樹冠遮断や蒸発散に及ぼす影響を分析するために、RRI モデルに遮断・蒸発散モデルを結合した。可能蒸発散量は SK サイトで約 1,420 mm と推定され、PR サイトの約 1,060 mm よりも多くなる。さらに、SK の樹冠遮断率 (30%) は PR の樹冠遮断率 (15%) よりも高くなるため、流出に及ぼす純降水量は、PR サイトの方が多くなることが分かった。また、SK サイトの年間流出量は 1,740 mm、PR サイトのそれは 2,060 mm と推定され、二次林からパーム椰子林に土地利用が変化した場合に、年間流出量が約 18 % 増加することが示唆された。

(4) 月単位の流出量の変化は、実蒸発散量の月変動に大きく影響を受けることが分かった。乾季の流出は PR サイトの方が、SK サイトよりも小さくなる傾向が示された。また、日流量の解析結果をもとに作成した流況曲線を比較すると、PR サイトでは洪水流量は SK サイトよりも多く、渇水流量は少ないことが分かった。これらの結果は、水文モデルを用いた土地利用変化の影響評価において、遮断や実蒸発散を考慮することの重要性を示すものである。それらの影響を無視した場合には、土地利用変化に伴う年間流出量の変化が過大に評価される。既往研究でも可能蒸発散量を直接水文モデルに導入した研究事例が多数報告されており、その結果は土地利用変化の影響を過大に推定していることが示唆された。

以上のように、本論文は、熱帯湿潤域における土地利用変化が降雨流出過程に及ぼす影響を現地観測と数値モデルによって明らかにしたものであり、同地域における洪水予測や統合的水資源管理などの課題について学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和 6 年 2 月 20 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。