第Ⅱ部門　　インドネシア・スマトラ島の熱帯雨林斜面における土壌と降雨流出特性に関する研究

京都大学大学院工学研究科　学生会員　○荒木　稜香
京都大学防災研究所　正会員　佐山　敬洋
京都大学大学院工学研究科　学生会員　山本　浩大

１．研究の背景と目的

インドネシア・スマトラ島では熱帯雨林伐採を伴うパーム林栽培が拡大している。一般に、森林伐採によって表層土壌の浸透能が低下し、洪水・渇水のリスクが増加するとされる[1]。しかしこの議論は、温帯で典型的である数１０ｃｍ～１ｍ程度の表層土壌と基岩から成る土層を想定している。熱帯地域で見られるような、数mに及ぶ厚い表層土壌の特性や降雨流出現象は、観測研究が少なく明らかになっていないことが多い[2]。特に浸透流や中間流について理解することは、土地利用変化の影響を評価するために重要である。

このような背景のもと、本研究は、以下を目的に行った。(1) 地下水面と土壌水分の観測を通して、厚い熱帯土壌における降雨流出特性を調査する、(2) 土質試験を通して、熱帯雨林とパーム林の土壌特性を比較する、(3) 一次元不飽和浸透モデルを用いて、土地利用変化が浸透流に与える影響を予測する。研究対象地域は、スマトラ島・バタンハリ川上流域の熱帯雨林とパーム林斜面とした（図１）。土層厚は斜面上部で１～２ｍ、斜面下部で４～６ｍであった（図２）。

２．地下水面と土壌水分の降雨に対する応答特性

２０１８年４月から９月（乾季）の間、熱帯雨林斜面で観測された井戸と土壌水分量計の記録を図３に示す。降雨が少ない期間でも、基岩の上に浅い地下水が常に存在することを確認した。またその地下水位は、総降雨量、降雨強度、前期降雨が大きいイベントで、大きく速く反応した（図３）。例えば観測井戸ＳＫ１では、平均４１分で０．５～３ｍ地下水が上昇し、反応開始から１時間以内に地表面から２ｍの深さに戻った。この大きく速い反応は観測期間内に 9 回のイベントで発生した。

図１　森林斜面（左）とパーム林（右）

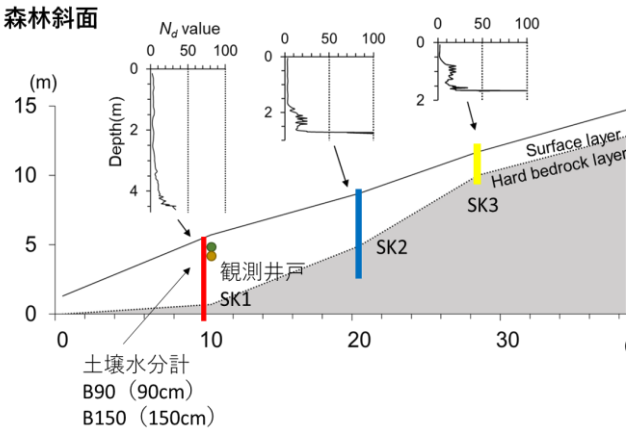

図２　森林斜面の土層と観測井戸・土壌水分計

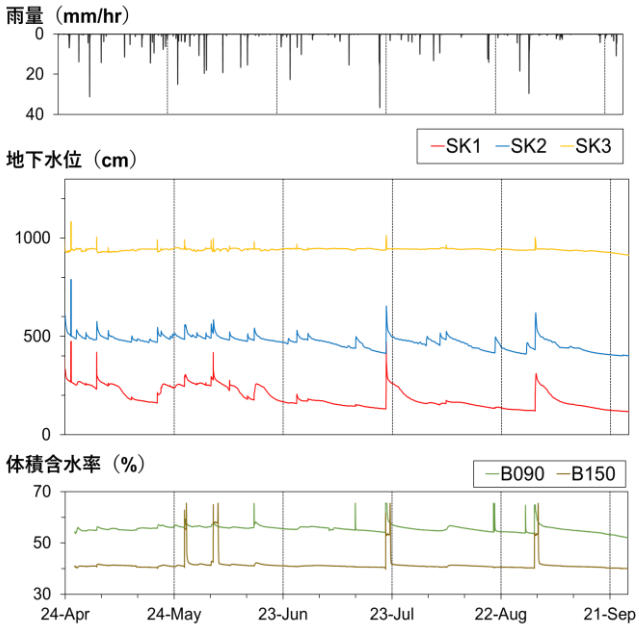

図３　地下水位と土壌水分計の応答

Ryoko ARAKI, Takahiro SAYAMA, Kodai YAMAMOTO
araki.ryoko.57z@st.kyoto-u.ac.jp

３．土壌の特性

熱帯雨林・パーム林斜面の地表面より０，３０，６０ｃｍの深さから土壌サンプルを採取した。土壌区分は、熱帯雨林斜面でシルト質粘土ローム、パーム林で砂質粘土ロームであった。しかし、透水係数は両斜面で平均８６４０ｍｍ／ｈと、非常に高かった。また、透水係数は３深度で同程度であった。さらに土壌水分曲線は、粘土と似た高い保水特性を示し、１０～１０００ｃｍの負圧下でも体積含水率は４５～５５％程度に維持された（図４）。発達した団粒構造が、熱帯土壌の高い透水性・高い保水性・高い体積含水率を可能にし、厚い土層内での大きく速い反応に寄与したと考えられる。

観測から得られた土壌パラメーターを用いて現場の一次元不飽和浸透流を再現したところ、降雨と同程度の量の浸透流が地下水面に涵養している可能性が示唆された。よって、熱帯における厚い土層の斜面流出は、一次元浸透に涵養される二次元側方流という単純なモデルで表現できる可能性がある。

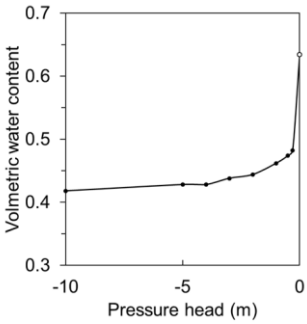

図４　土壌の水分保持曲線（森林・パーム林平均）

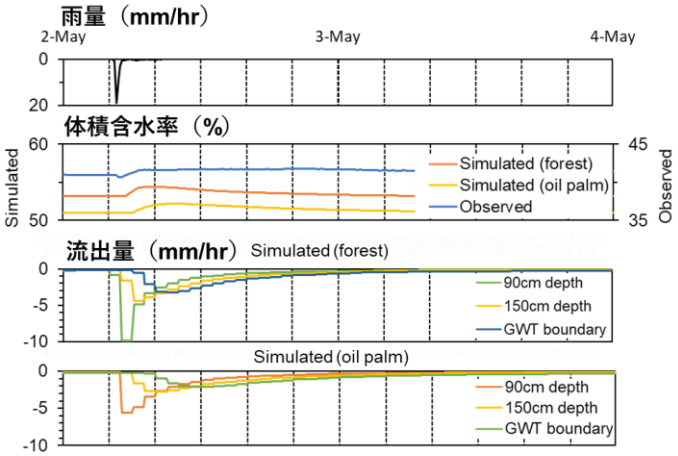

図５　イベント＃１５８のシミュレーション結果

４．土地利用変化の影響

森林斜面の最終浸透能は非常に高く（４６０ｍｍ／ｈ）、パーム林斜面の最終浸透能は森林の約１／２０しかなかった（２０ｍｍ／ｈ）。森林伐採やパーム栽培時の圧密が表層の最終浸透能を低下させたと考えられる。

実験と観測結果をもとに、土地利用変化が一次元不飽和浸透流へ与える影響を評価した（図５）。パーム林では森林よりも９０ｃｍ深さで土壌水分の反応が約１時間遅れ、地下水面への流出量のピーク強度が約３０％小さくなった。また、乾季のパーム林では積算フラックス量が森林より１２％小さかったが、雨季では森林との差が縮まった。積算表面流出は土地利用変化前後で無視できる程度だった（1.0×10^{-4} ｃｍ）。

このシミュレーション結果は、森林からパーム林への土地利用変化が、乾季における渇水を増加する可能性を示唆する。表層の浸透能低下によって土壌への浸透が遅れ、地下水面に到達する前に厚い土層に吸収されてしまうか蒸発してしまうことを示唆する結果となった。

５．結論

本研究は、観測と実験を通して、熱帯雨林斜面の厚い土層内における土壌と降雨流出の特性を調査した。さらに、一次元不飽和浸透モデルを用いて浸透流を再現し、土地利用変化の影響を評価した。

降雨流出プロセスについては、浅い地下水面と、大きい降雨イベント時における地下水面の大きく速い反応が観測された。高い透水性と保水性を両立する熱帯土壌の団粒構造が、浸透流の地下水面への涵養を可能にし、地下水面の大きく速い反応を引き起こしたと考えられる。

土地利用変化については、表層の浸透能がパーム林で低く、表層以下の土質は森林とパーム林で違いがみられなかった。一次元不飽和浸透流モデルは、土地利用変化による浸透能の低下が乾季の渇水に繋がるシナリオを示した。

参考文献

[1] I. Comte, F. Colin, J.K. Whalen, P. Grunberger, J.PP. Caliman (2012): Agricultural Practices in Oil Palm Plantations and Their impact on Hydrological Changes, Nutrient Fluxes and Water Quality in Indonesia: A Review, 1st ed. Elsevier Inc.

[2] M. Bonell, M.M. Hufschmidt, S. Cladwell eds. (1993): Hydrology and Water Management in the Humid Tropics. Cambridge University Press.