

大雨時の森林斜面土層内の空気圧上昇を現地観測から明らかに

森林防災研究領域:岩上 翔、清水 貴範、久保田 多余子、飯田 真一
国際農林水産業研究センター:野口 正二

木 林に降った雨が湧水として流出するプロセスについて、土層内の空気の動きに着目し現地観測を行ったところ、大雨時に地下水位の上昇とともに土層内の空気圧が上昇することが明らかとなりました。

「水」の流出を調べるために「空気」に着目

降雨時には、森林小流域でも速やかに湧水(渓流水)の流量が増加しますが、そのメカニズムはいまだに十分に解明されていません。そこで、水の挙動だけでなく、土層内の間隙空気の挙動が流出メカニズムに関わっている可能性に注目し、現地観測に基づいて間隙空気の挙動を明らかにすることを試みました。

「封入空気」の形成に注目

間隙空気圧の測定にあたっては“封入空気”の形成に注目しました。封入空気とは降雨時に地表面が十分に濡れて水で飽和、あるいは飽和に近い状態になると、地中の空気が大気に抜ける逃げ道が無くなり、間隙空気が土層内に封じ込められる現象です。封入空気は地表から浸透してくる水と、地下水位の上昇に挟まれて圧縮(加圧)される可能性があります。封入空気の形成と加圧は大気圧と間隙空気圧の差圧(以下「差圧」)を利用して評価しました。山地斜面では地下水位が短時間に大きく上昇することがあり、地下水位の上昇による効果にも注目しました。観測は茨城県内の筑波共同試験地(石岡市)と常陸太田試験地(常陸太田市)において行いました(写真1)。

台風大雨時の観測データ解析

台風による大雨時の観測データについて、詳しく解析を行いました。その結果、台風の強い雨が降り出すまでは大気圧と間隙空気圧が同じ挙動を示しましたが、その後強い雨が降り出すと台風によって大気圧が低下する一方で、間隙空気圧は上昇し、封入空気の形成が確認されました。間隙圧*を間隙水圧*と間隙空気圧*に分けて示すと(図1)、地下水位の急上昇と同じタイミングで間隙空気圧が急上昇したことが確認され、間隙空気圧の上昇と地下水位の

上昇との間には強い関係があることが分かりました。地下水位の上昇による間隙空気の加圧への効果は室内実験等では明らかにされておらず、新しい発見でした。また別途観測した土壌水分の応答を見ても間隙空気の封入が起きたことが整合的に説明できる結果となりました。流域内での水と空気の流れを3次元的に捉え、降雨流出過程の理解を深めていくことで洪水や土砂崩れ等の災害発生との関連についても明らかとなり、これらの予測・防災に役立つことが期待されます。

専門用語

間隙圧:土層を作る土粒子の間の隙間に存在する流体(水と空気)の圧力。

間隙水圧:土層中の隙間に存在する水の圧力。

間隙空気圧:土層中の隙間に存在する空気の圧力。

研究資金

- ・科研費(JP24K04410)「3次元シミュレーションによる山地斜面内の間隙空気圧挙動把握」
- ・科研費(JP20K19963)「山地斜面内の間隙空気の測定手法と降雨流出過程に及ぼす影響」
- ・環境省地球環境保全等試験研究費(地球一括計上)「気候変動への適応に向けた森林の水循環機能の高度発揮のための観測網・予測手法の構築」
- ・農林水産省委託プロジェクト研究「山地災害リスクを低減する技術の開発」16781381

参考文献・サイト

Iwagami, S., Noguchi, S., Shimizu, T., Kubota, T. and Iida, S. (2024) Field measurement of entrapped pore-air pressure and the effect of rising groundwater level in the soil layer. *Hydrological Processes*. 38(7), e15235. DOI: 10.1002/hyp.15235

岩上翔(2020) 研究の森から「森の地下水の流れをつかまえる」. 季刊森林総研, 51, 16-17.



写真1 間隙空気圧測定現場(常陸太田試験地HA流域)の様子

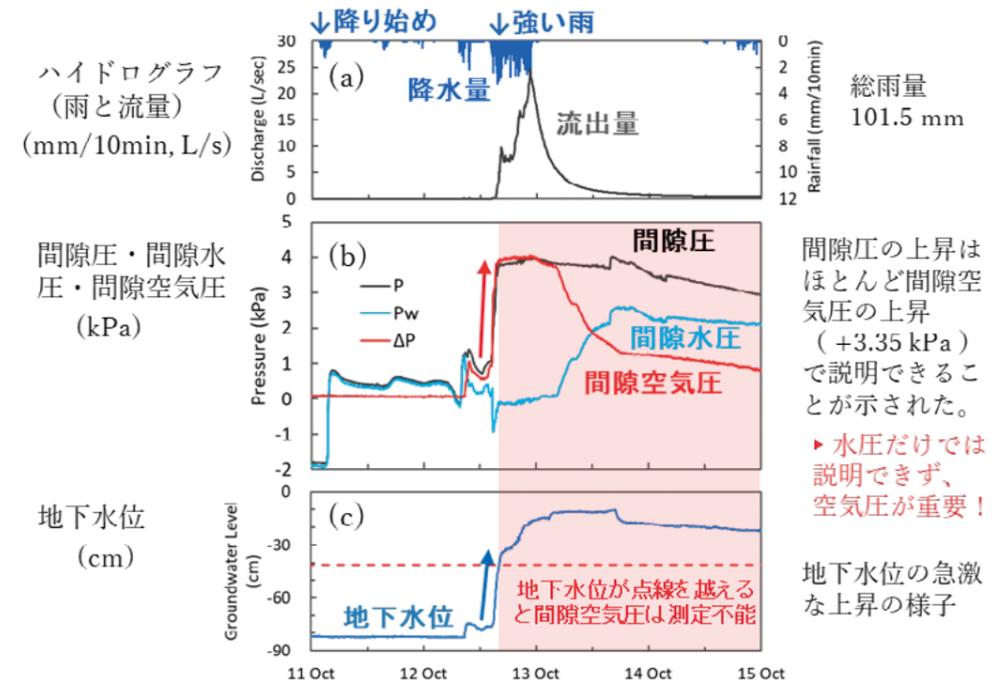


図1 2019年10月の台風の大降雨時における (a) ハイドログラフ、(b) 土層内の間隙圧と間隙水圧・間隙空気圧、(c) 地下水位の時系列変化(いずれも常陸太田試験地HA流域)

雨の降り始めには間隙水圧の応答によって間隙圧の応答が起きていますが、強い雨が降り出したタイミングで地下水位が大きく上昇し、これと連動して間隙空気圧の上昇によって間隙圧の上昇が起きていることが分かり、間隙空気圧を考慮する重要性が示されました。(Iwagami et al. 2024, Fig. 8を改変)