P-53

降雨流出過程における山体間隙空気の影響

筑波大学大学院生命環境科学研究科　○古谷麻美，恩田裕一，辻村真貴，岩上翔
筑波大学大学院環境科学研究科　増渕　健
熊本大学大学院自然科学研究科　嶋田　純

1. 研究目的

近年，山地源流域を対象とした観測において，降雨時に地下水流出は山体内部に封入された間隙空気が何らかの役割を果たしていることが指摘されている．また，大気圧変動に伴う地下水位の変動の原因には土層内の通気性が影響していると考えられている．Weeks（1979）は不飽和帯間隙中を徐々に伝播する圧力と井戸孔内を即座に伝播する圧力によって，水位の変動に差が生じることを指摘したが，間隙空気を直接観測はしていない．また，毛管水帯の正圧化について間隙空気圧が影響するといわれているが，山地源流域において間隙空気を観測した研究例はない．そこで本研究では，観測井を設置し間隙空気の観測を行ない，封入された空気圧変化が降雨流出に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした．

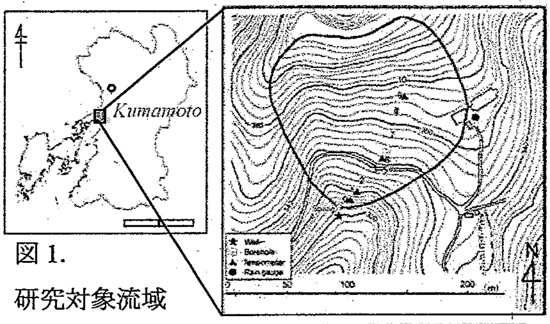

図 1. 研究対象流域

2. 研究対象流域と方法

研究対象流域は，熊本県宇城市不知火町永尾地区の源流域（通称，マムシ谷）とした（図 1）．

山体内部の間隙空気の変動を把握するために，マムシ谷流域に設置された 25 m 観測井を利用した．この観測井のスクリーンは 10 - 25 m に設けた．また，地表面出口部分は，塩化ビニル製の蓋で密閉出来る構造となっている．この蓋に穴を開け，その穴にナイロンチューブを通し，観測井内部と連続させ（図 2），チューブのもう片方の出口を空気流量計（気体用マスフローメータ）に接続した．空気流量計の出口は大気開放し観測井から連続して，大気中に空気が出入り出来る構造にした．空気流量計のデータは，データロガーに 10 分間隔で連続的に測定値が記録される（図 3）．データは，ほぼ 1 ヶ月に 1 回の割合で定期的に回収を行った．得られたデータは，空気流量計から電圧換算されたデータを記録している．観測開始前に，空気流量計に表示される流量とロガーに表示される電圧出力のキャリブレーションのための予備実験を行って補正式（式 1）を導き，これを用いて空気の流出と定義した．

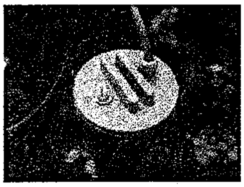
図 2. 観測井上部

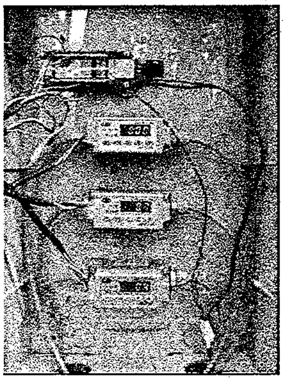
図 3. 空気流量観測装置

$$Y=0.0101X-0.093 \qquad (1)$$

ここで Y は空気流量（L/min），X はロガー値（mV）である．また観測流域斜面の地中水の挙動を明らかにするため，湧水上部と斜面の 4 地点（通称，M1 ~ M5）に圧力式テンシオメーターを埋設して各深度の土壌水の圧力水頭を観測した．マムシ谷湧水における流出量を測定するために水位と雨量の連続観測を行っている．水位の連続観測のために，湧水流出地点下にパーシャルフリュームと 30° V ノッチ三角堰を設置した．それぞれに静電容量式水位計を用いて水位を連続観測している．降水量は林外において観測した．観測には 0.2 mm 転倒マス雨量計を用いた．降水量は転倒回数（パルス信号）としてデータロガーに記録され定期的に回収した．

3. 結果及び考察

2005 年 5 月から 2006 年 12 月までの観測期間中，降雨イベント時に空気流量の変動が観測され，その最大瞬間流量は降雨強度が 30 mm/h 以上になると急激に増加している (図 4). 2006 年 6/26－27 に総雨量 105 mm, 時間雨量 47 mm の降雨イベントがあり，その際に測点から 65 m 離れた観測井で空気流出量の最大瞬間値が 1.7 L/min の観測期間中最大の観測がされた．このイベント時の降水量，湧水流量，空気流出量，土壌水圧力水頭変化を図 5 に示す．

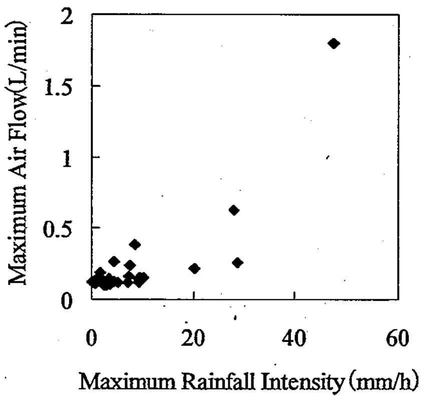

図 4. 空気流出量と降雨強度の関係

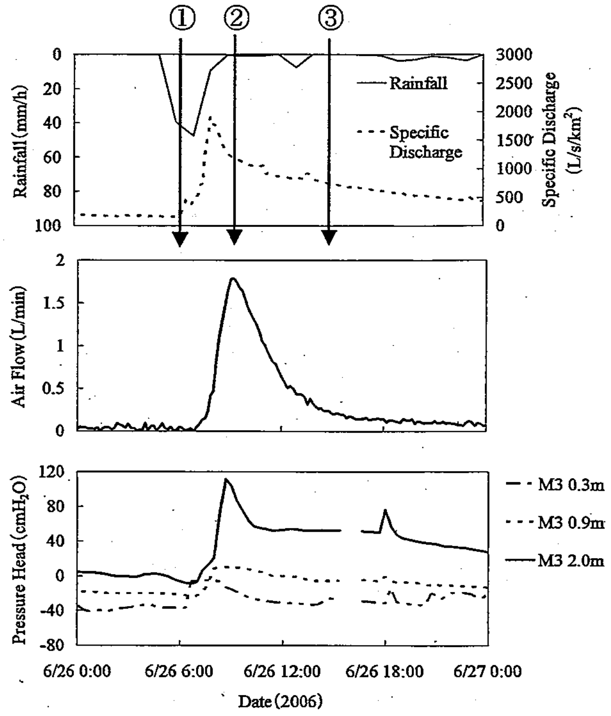

図 5. イベント時のハイドログラフ，空気流出量と土壌水圧力水頭変化

観測井からの空気流出量は，湧水の流出が瞬間的に跳ね上がった時とほぼ同時に山体からの空気流出が最大 1.7 L/min 程度まで上昇している．また，同時刻における圧力水頭値も瞬時に正圧化されている．さらに，空気流出量が減少するとほぼ同時に湧水流量の減少と圧力水頭値の減少もしている．

このイベント時の圧力水頭値の時系列変化を図 6 に示す．それぞれの時刻の圧力水頭値より，空気流出が観測され始めた時 (①)，ピーク時 (②)，減衰時 (③) の地下水面の状況が算出される．また，この時に観測井からの空気流出を観測しているので，降雨に伴って封入された間隙空気が風化層内で加圧され，選択的に観測井から流出していた．

湿潤な時期の豪雨に対する降雨浸透プロセスにおいて，地中水の飽和域の拡大に伴い，山体内部では間隙空気が加圧されリッジ状の飽和帯が形成される (②)．この流域では表層流が観測されていないことから，上昇してきた飽和帯は湧水として流出する．よって，観測された急激な湧水流出は加圧された間隙空気が押し出したと考えられる．

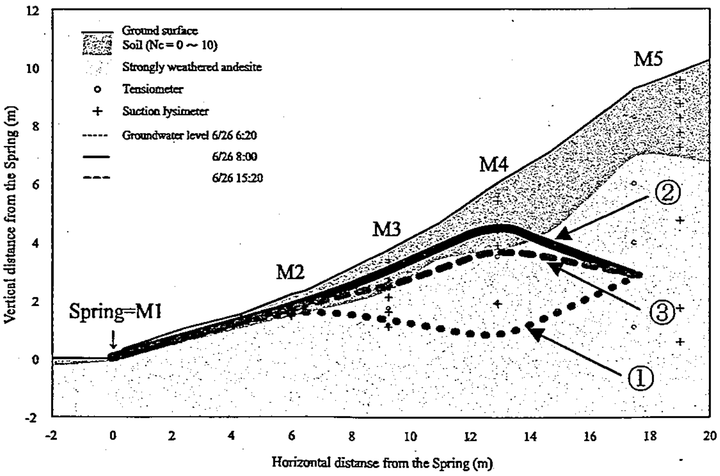

図 6. 土壌水圧力水頭値の時系列変化の断面図

参考文献

Weeks, E. P. (1979): Barometric fluctuations in wells tapping deep unconfined aquifers. *Water Resources Research*, vol.**15** (5), 1167-1176