

小杉 賢一郎

京都大学大学院農学研究科・准教授

良質で安全な水の持続的な供給を実現するための
山体地下水資源開発技術の構築

§1. 研究実施体制

(1) 小杉グループ

- ① 研究代表者: 小杉 賢一郎 (京都大学大学院農学研究科, 准教授)
- ② 研究項目
 - ・ 山体地下水の構造解明に基づく適切な山体地下水資源開発手法の検討

(2) 勝山グループ

- ① 主たる共同研究者: 勝山 正則 (京都大学大学院農学研究科, 研究員)
- ② 研究項目
 - ・ 山地河川流出水の量的・質的シグナルに基づく優良地下水帯分布域の推定

(3) 松四グループ

- ① 主たる共同研究者: 松四 雄騎 (京都大学防災研究所, 准教授)
- ② 研究項目
 - ・ 地形と山体地下水分布・崩壊危険箇所分布の対応の解明

(4) 中村グループ

- ① 主たる共同研究者: 中村 公人 (京都大学大学院農学研究科, 講師)
- ② 研究項目
 - ・ 山体地下水の水質と汚染リスクの検討

(5) 佐山グループ

①主たる共同研究者: 佐山 敬洋 (土木研究所水災害リスクマネジメント国際センター, 研究員)

②研究項目

- ・改良型 T-SAS モデルを用いた河川流出水の起源の時空間変動解析

(6) 藤本グループ

①主たる共同研究者: 藤本 将光 (京都大学学際融合教育研究推進センター, 特定助教)

②研究項目

- ・山体地下水の構造解明と優良地下水帯推定結果の検証

§ 2. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(3-1)に対応する)

1. 山地河川流出水の量、温度、水質、安定同位体比の時空間分布の観測（佐山を除く全グループ）

優良地下水帯探査の基礎となる水文・水質データの収集をねらいとしている。本年度は、小起伏花崗岩山地として滋賀県大津市不動寺流域、小起伏中古生層山地として滋賀県甲賀市信楽流域、大起伏花崗岩山地として兵庫県神戸市西滝ヶ谷流域、大起伏中古生層山地として滋賀県大津市葛川流域を調査地に設定し、各調査地を踏査して、流域内部の複数の箇所流出量、水温、電気伝導度、pH の調査を行った。さらに、量水堰の設置に適した地点を探索した。以上の結果に基づいて、流量・水温・水質・同位体比の連続観測地点を決定し、観測計画を立案した。その上で、不動寺流域、信楽流域、西滝ヶ谷流域については、立案した計画に沿って一部の施設を設置し、観測を開始した。H24 年度には、全流域で全ての観測体制を整え、データ取得を行う。

2. 山地河川流出水の量的・質的シグナルに基づく優良地下水帯分布域の推定（勝山グループ）

山地河川流出水の量、温度、水質、安定同位体比の観測データに基づき、山体地下水の賦存・流動状況を検討し、優良地下水帯の分布域を推定することをねらいとしている。本年度は、イオンクロマトグラフならびに ICP 発光分光分析装置を配置した実験環境を整え、降雨、河川流出水、地下水の水質を効率よく分析できる体制を構築した。また、水の安定同位体比を、レーザー分光式アナライザーを用いて効率よく分析できる体制を構築した。H24 年度には、これらの施設を使用して流出水のシグナルを計測し、解析する。

3. 改良型 T-SAS モデルを用いた河川流出水の起源の時空間変動解析（佐山グループ）

流出水の量的・質的シグナルを効果的に解析するモデルを開発することで、流出水の起源の時間的・空間的変動を定量化し、優良地下水帯の推定に資することをねらいとしている。本年度は、これまでに開発した T-SAS (time-space accounting scheme) モデルについて、山体内部の地下水流動を解析するためのサブプログラム、ならびに水温、水質、同位体比の変動を移流を考慮して解くためのサブプログラムの開発を行った。H24 年度には、サブプログラムをメインプログラムに組み込み、量的・質的シグナルの解析モデルを完成させる。

4. 山体地下水の構造解明と優良地下水帯推定結果の検証（藤本グループ、小杉グループ）

山体地下水の涵養・流動プロセスの実態を明らかにし、優良地下水帯の分布域や賦存量を把握することをねらいとしている。本年度は、これまでの観測で蓄積された地下水位データを解析し、山体地下水が斜面の末端部において大量の湧水帯を形成している状況を定量化

した¹⁾。さらに、山体地下水賦存・流動状況の実態解明に向けて、不動寺流域において予備的な調査ボーリングを実施した。その結果を、既に流域の一部で調査ボーリングが実施されている信楽流域と比較したところ、花崗岩山地と中生層山地の間で、山体地下水の賦存形態が異なることが判明した。すなわち、花崗岩山地では、山体地下水位が深く、風化が進んだ基岩層上部の不飽和帯が雨水の一時的な貯留に大きく寄与する一方、中生層山地では、山体地下水位が浅く、飽和帯内部の亀裂が雨水を貯留していることが判明した。H24年度は、さらにデータの蓄積を行うとともに、山体地下水の開発・利用においてこのような地質による違いを如何に考慮すべきかについて、実際の取水試験を実施して検討する。

5. 適切な山体地下水資源開発手法の検討 (小杉グループ)

山体地下水資源を持続的に利用するための最適取水方法、ならびに豪雨に伴う山腹斜面崩壊による災害・水源地荒廃を防ぐための最適取水方法について、数値シミュレーションにより検討することをねらいとしている。さらに、シミュレーションの入力・検証データを効率良く取得するための、リモートセンシング・物理探査手法の構築をねらいとしている。

本年度は、山地源流域を対象した既往のシミュレーションモデルの問題点を検討した²⁾。既往モデルは、雨水流動が土層内のみで発生すると仮定した上で、地形、土層厚、土壤物理性の情報に基づいて、山地源流域の地下水位・流出量推定、斜面崩壊予測を行っている。既往モデルによる計算結果を水文観測結果と比較したところ、モデル中のパラメータをどのような値に設定しても、流出ハイドログラフに見られた基底流量の大きな変動を再現することができなかった(図-1)。これは、大量の雨水が基岩に浸透し、山体地下水として貯留された後に、波形を大きく遅らせて流出するためであると考えられた。また既往モデルでは、谷地形を示す地点に雨水が集中することによる斜面崩壊は予測できた(図-2

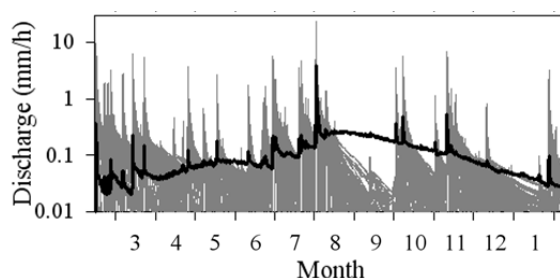


図-1 既往のシミュレーションモデルで計算された流出量(灰色線)と観測値(黒線)の比較。シミュレーション結果は、パラメータを種々に変化させた81通りの計算結果全てを表示している。

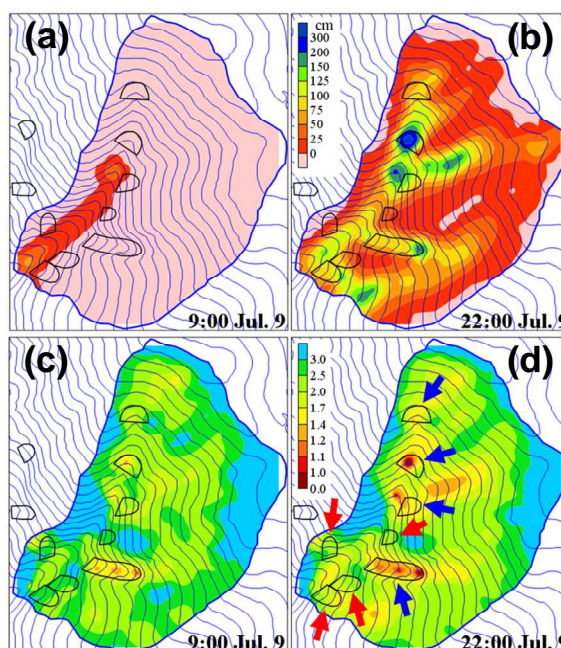


図-2 既往のシミュレーションモデルで計算された地下水位(a, b)と崩壊に対する安全率(c, d)の分布。降雨前(a, c)と降雨ピーク直後(b, d)の結果を示している。崩壊に対する安全率は、値が小さいほど崩壊が発生しやすく、1を下回ると斜面の剪断力が抵抗力を上回ることを意味している。

の青矢印)が、山体地下水が湧出する地点の斜面崩壊は予測できなかった(図-2の赤矢印)。さらに既往モデルは、土層内の地下水位が上昇することによって数メートルの厚さの斜面表層が崩壊する現象(表層崩壊)は解析することができるが、山体地下水の上昇によって土層・基岩層が一体となって数十メートルの厚さで崩壊する現象(深層崩壊)は解析することができなかった。表層崩壊は数十年のオーダーで頻発し、水源林荒廃や渓流水汚濁を引き起こすが、山体地下水の賦存・流動状況に大きな影響を及ぼす可能性は小さい。これに対して深層崩壊は、発生確率は数百年のオーダーであるが、一端発生すると被害規模が大きいうえに、山体の地下水賦存量を大幅に減らしてしまうという問題がある。また、気候変動に伴い、発生の増加が危惧されている。このため、表層崩壊とならび、深層崩壊の予測手法の確立と抑止技術の開発が急務となっている。

本年度の検討で、既往モデルに多くの問題点があることが判明したため、H24年度には、山体地下水の涵養・流動に関する物理プロセスを考慮できるように改良を加える。その上で、斜めボーリングやポンプアップ(動力ポンプもしくはサイホン)で山体地下水を取水した場合の地下水位や流出量の変化について解析する。さらに、山体地下水位を下げることによって、表層崩壊や深層崩壊を軽減する方法についても解析する。

以上に加え、本年度は、西滝ヶ谷流域について既往のリモートセンシングデータ(熱赤外と空中電磁波探査)と物理探査データの収集・解析を行った。その結果、特に比抵抗映像法を用いた調査が、地下水探査に有用であると考えられた。そこで、H24年度からは新たに研究グループ(山川グループ)を設け、比抵抗映像法を用いた山体地下水探査手法について開発を進める。

6. 地形と山体地下水分布・崩壊危険箇所分布の対応の解明(松四グループ)

山体の地形情報を、地下水資源開発に有効に活用する方法について検討することをねらいとしている。本年度は、既往のリモートセンシングによる地形データ(LiDARデータ)を収集・解析した。その上で、追加のLiDARデータが必要な葛川流域で計測準備を行ったが、例年より早めの降雪・積雪に見舞われ、計測を実施することが出来なかった。雪融け後かつ樹木新葉展開前のH24年4～5月に計測を実施した上で、精密な数値地形図を作成し、隆起準平原、遷急線、線状凹地、リニアメント、断層線などの地形要素と地下水の分布について解析する。

7. 山体地下水の水質と汚染リスクの検討(中村グループ)

山体地下水の質的安全性、おいしさ、および汚染リスクを評価することをねらいとしている。本年度は、信楽流域を対象として、山体からの湧水の水質調査を実施した。その結果、一部にお茶畑が分布する流域では、硝酸態窒素濃度に上昇傾向が認められることが判明した。また、堆積岩を母材とする流域では、地層の走向によって水質に差が生じていることがわかった。H24年度には、自動採水機を用いた湧水の連続サンプリングと、雨水・地下水のサンプリングを実施し、各流域の水質形成メカニズムを解明する。

§3. 成果発表等

(3-1) 原著論文発表

- 論文詳細情報

1. Masaoka, N., Kosugi, K., Yamakawa, Y., Mizuyama, M. and Tsutsumi, D. (2012) Application of a combined penetrometer-moisture probe for investigating heterogeneous hydrological properties of a foot slope area, *Vadose Zone J.*, **12** (in press).
2. 小杉賢一郎, 木下篤彦, 藤本将光, 水山高久, 三道義己 (2012) 地形に依存した雨水流動追跡に基づく表層崩壊発生予測の問題点, 砂防学会誌, **65**(1) (印刷中)