

気候変動に伴う局所的豪雨メカニズムの変容と地域基盤システムの脆弱性の評価 (研究成果報告書)

1. 研究課題・目的

1.1 長期目標

目的は、気候変動が住吉川流域の森林環境に与える影響を測定・モデル化し、土石流のリスクが高まるかどうかを定義することである。

1.2 一年間の目的と小目標

そこで、気候変動が住吉川流域に与える影響と土砂災害の可能性を定量的に把握することを主目的とする。

1.2.1 森林気象学の目的。キャノピー下と気象台の気温データの関係を理解する。大気・土壌の温度と水分の関係を理解する。

1.2.2 土壌力学の目的。新たに開発した「ゴメス法」を用いた圧縮強度とかさ密度の現地調査により、土壌力学的特性の空間的変動を測定する。過去に開催されたイベントのアーカイブから履歴データを加工する

1.2.3 住吉川流域のデータの空間化。LP データに基づく森林タイプの空間分布と土壌気象データをリンクさせる。佐保ダムに捕捉された土砂による土壌侵食の測定。土壌の移動と侵食に対する脆弱性のクラスを作成する。与えられたシナリオに対する気候変動修正の影響予測

2. 方法

2.1 住吉川森林の観測方法

気象・気候タワーから収集したデータやシミュレーションは、地域レベルでは実際に有用であるが、森林の種類や地形が異なるため、樹冠下や土壌の気象(水・ガス交換、温度)を正確に表現することはできない。フィールドに設置されたセンサー(図1)によると、植生の種類によって昼と夜で4~5度の温度変化があることが分かっている。その結果、空気中の水分や土壌水分の変化速度が異なり、土壌浸食や土壌中のプロセスに影響を与える。



図1 住吉川流域の土地衣服と使われた現地センサー。

2.2 数字計算気象の方法

WRF v3.7.1 を使用する。計算期間は助走期間を含め 2017 年 6 月 1 日から 8 月 31 日

の 3 ヶ月間とした。計算領域は東アジア域 (D1)、日本域 (D2)、関西域 (D3) の 3 重の 1 方向ネスト構造とし、それぞれの水平解像度は 45 km、15 km、5 km である。本研究では D3 の計算結果を解析に使用し、降水過程のうち雲微物理と積雲の各メカニズムの感度実験を実施して観測雨量との比較を行う。雲微物理スキームには WRF Single Moment 5-class (WSM5) と Morrison double-moment を、積雲スキームには Kain-Fritsch と Grell 3D を用いており、それぞれの組み合わせで 4 種類の計算を行う。モデル検証用に用いた観測値は、国土交通省が運用し DIAS がアーカイブしている X バンド MP レーダの地域別合成雨量データ XRAIN リアルタイム雨量情報システム (以下 XRAIN) である。

2.3 ラボラトリの土せん断応力方法

せん断応力 (斜面の抵抗力) に対する滑り土塊の滑り力の比を斜面安全率と呼び、この値が 1 を下回ると斜面が崩壊する。ここで表土層厚 (基盤岩から地表面までの深さ) が $h[m]$ の無限斜面内に単位長さを底面とする土柱を想定する。基盤岩から地下水面までの深さを $h_2[m]$ 、地下水面から地表面までの高さを $h_1[m]$ とし ($h = h_1 + h_2$)、すべり面を基盤岩に沿った面と想定する。また、地下水面より

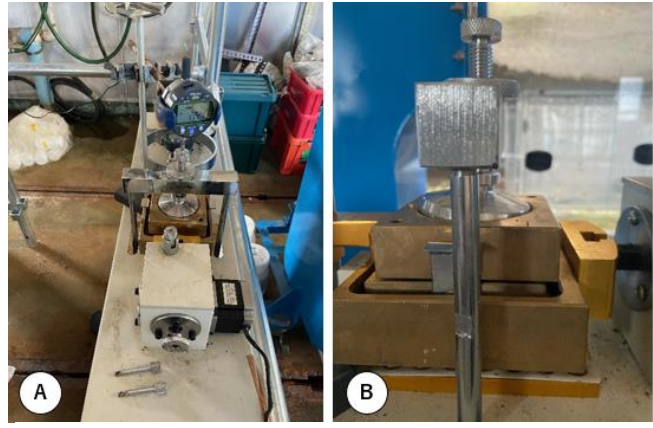


図 2 (A) 一面せん断機、(B) 試験後のせん断箱

り上層の土の湿潤単位体積重量を $\gamma_t[kN/m^3]$ 、地下水面より下の土の飽和単位体積重量を $\gamma_{sat}[kN/m^3]$ 、水の単位体積重量を $\gamma_w[kN/m^3]$ 、斜面勾配を θ とする。この時、滑り面に作用するせん断応力とせん断強度の比率が斜面安定度 F_s となる。土柱は単位長さの底面であるため、土柱の重量 W は滑り面に作用する鉛直応力 σ_v になる: $W = \sigma_v = (\gamma_t h_1 + \gamma_{sat} h_2) \cos \theta$ 、この時、すべり面に作用する垂直応力 σ とせん断応力 τ は $\sigma = \sigma_v \cos \theta = (\gamma_t h_1 + \gamma_{sat} h_2) \cos^2 \theta$ 、 $\tau = \sigma_v \sin \theta = (\gamma_t h_1 + \gamma_{sat} h_2) \cos \theta \sin \theta$ 、また、水の間隙水圧 u は $u = \gamma_w h_2 \cos^2 \theta$ です。土のせん断強度は前述のクーロン破壊基準(2)'を用いると、 $\tau_f = c + (\sigma - u) \tan \phi = c + (\gamma_t h_1 + \gamma_{sat} h_2 - \gamma_w h_2) \cos^2 \theta \tan \phi$ そうすると、斜面の安定度 F_s は

$$F_s(h_2) = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{c + (\gamma_t h_1 + \gamma_{sat} h_2 - \gamma_w h_2) \cos^2 \theta \tan \phi}{(\gamma_t h_1 + \gamma_{sat} h_2) \cos \theta \sin \theta}。$$

3. 結果

3.1 森林気象観測結果

現在、地すべり・土石流モデルでは、気象観測所の降雨データを用いているが、キャノピー下や地中では、温度も水分分布も二重に変動が見られる。この結果は、植生の種類、地形、河川の近接性などが、空間的・時間的に温度と水分に重要な影響を与えることを示している（図3）。

3.2 気象モデル結果

メソ気象モデル WRF (Weather

Research and Forecasting Model) とは、米国大気研究センター (NCAR) によって開発された数値気象モデルである。力学過程は移流や気圧傾度力、水平拡散の時間変化率等を求める過程であり、数値モデルにおける計算手法の大枠を決定している。本研究では、大気中の物質濃度や湿性沈着量に重要な役割を果たす降水量の再現性の観点より、WRF 計算に用いる適切な物理スキームの検討を行なった（図4）。

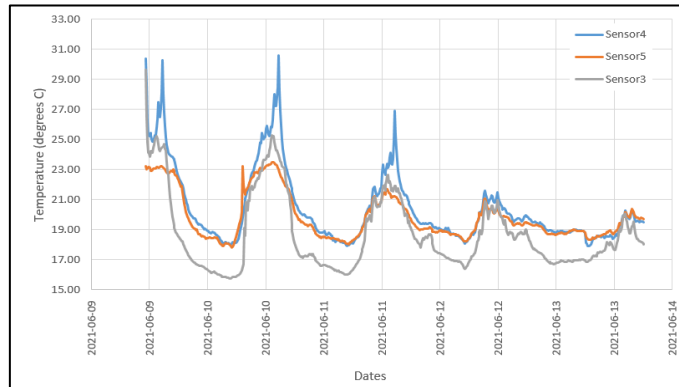


図3 住吉川の森中に観測された温度。コナラの多い場所に一日の温度変化（センサー4）がヒノキの下（センサー5）より多いです。また川のそばに温度が夜に涼しくなります（センサー3）。

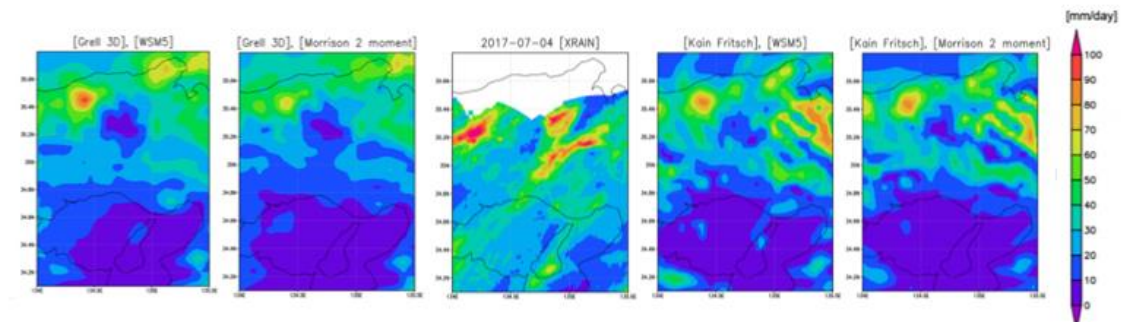


図4 WRF モデルの結果（物理設定による雨の結果変化）

2017 年 7 月 4 日の兵庫県における 日降水量の XRAIN 観測値と WRF 計算結果を図1に示す。4つのWRF計算結果を比較すると、日降水量の分布は、積雲スキームが同じであれば雲微物理スキームが異なっても大きな変化がないことが確認できる。積雲スキームに Grell 3D を用いた場合、兵庫県 の北東や北西領域において 80 mm/day 超の降水が確認できる。対して Kain-Fritsch を用いて計算した場合、80 mm/day 超の降水が兵庫県東部の広範囲で確認できる。一般的に、Kain-Fritsch は Grell 3D よりも計算過程が複雑なため、強い降水が再現されたと考えられる。今回行った4種類のWRF計算結果をXRAIN観測値と比較すると、降水量が全体的に少なく、降水量が多い領域も異なっている。また、大阪湾や淡路島あたりの海上においては、WRFで降水がほとんど再

現できていない。より正確に降水量を再現するためには、今回行なった物理スキーム以外の他の物理スキームも検討する必要がある。

3.3 土密度と F_s の結果

住吉川流域の土壌は、有機物に非常に富み、最初の 10cm は密度 <1 、その後砂質土壌が 1.6~1.8、粘土に富む物質は 1.8 以上である。算出された F_s は、2018 年に土石流が発生した斜面でも、降雨がない場合は 4 以上の値を示しています。これは、粘土に富む土壌では <1 まで低下するが、砂が多い土壌では >1 のままである。このことから、植生分布と合わせて、住吉川における土壌の正確なマッピングがまだまだ必要であることが明らかになった。

4. 研究の続き

土壌や植生に関する知識はまだ十分ではなく、空間的なばらつきもさらに調べる必要があるため、流域の出力を使って土壌水分量の推定値を測定しているところである。気候変動の影響を受けたときに、これらの出力を表現できるように、モデル化を行っています。

今後、さらに土壌調査や森林温度調査を行い、気候変動が物質移動の引き金になることをモデル化する予定である。

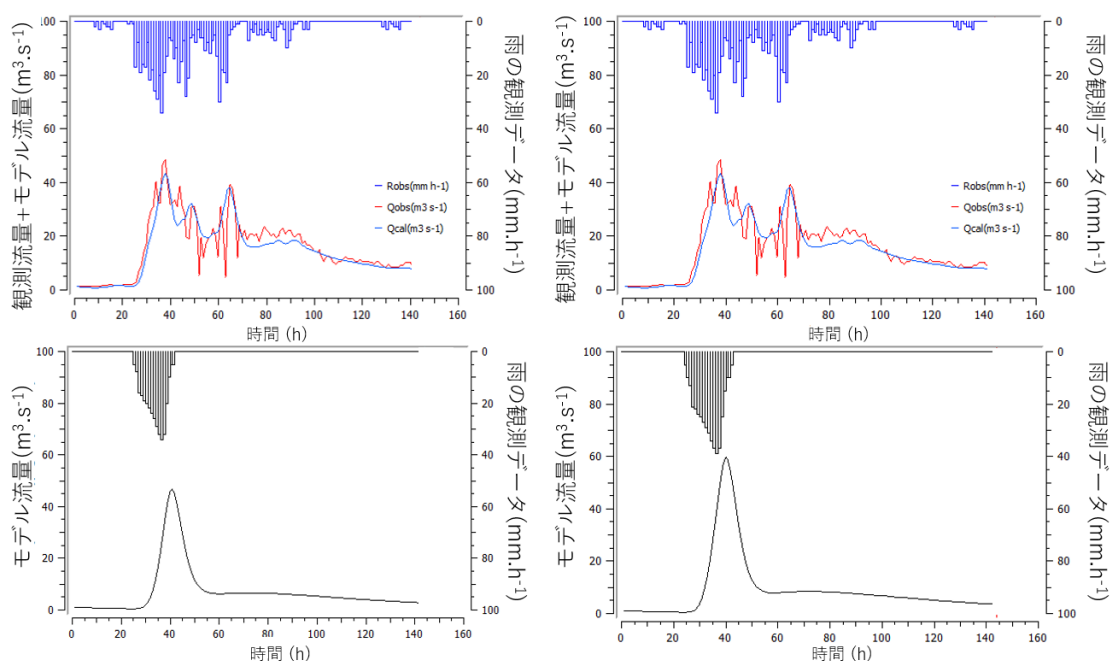


図5 住吉川に降る雨量と川の流量を結んだポリノミナルモデル結果と大雨のテスト

* 供用研究者

神戸大学の山地一代 (准教授)・杉本小都 (大学院生)・吉田実加さん (大学生)